



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Réduction de l'emploi des produits phytopharmaceutiques par le développement de l'agriculture de précision

Rapport n° 23048

Établi par

Pascale CAZIN

Inspectrice générale

Hervé SIMON

Inspecteur général

Octobre 2023



SOMMAIRE

RESUME.....	5
LISTE DES RECOMMANDATIONS CLASSEES PAR PRIORITE	6
INTRODUCTION	9
1. PREMIERE PARTIE : LES TECHNIQUES UTILISEES EN AGRICULTURE DE PRECISION ».....	10
1.1. LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS ET LES MALADIES : un nombre de solutions relativement peu nombreuses et souvent peu développées	10
1.1.1. Détecter les risques d'apparition des maladies et des ravageurs : les outils d'aide à la décision (OAD)	10
1.1.2. Reconnaître les insectes	12
1.1.3. Détecter la maladie.....	12
1.1.4. Pulvériser de manière ciblée	13
1.1.5. Diminuer les doses	14
1.2. LUTTE CONTRE LES ADVENTICES : des solutions plus variées mais restant également peu déployées.....	15
1.2.1. Les OAD.....	15
1.2.2. Des technologies numériques utilisant des données satellitaires, des caméras à haute définition et l'intelligence artificielle	15
1.2.3. L'utilisation de ces nouvelles technologies permet :.....	17
1.2.4. Les robots autonomes	21
2. DEUXIEME PARTIE : LES PERSPECTIVES DE DEPLOIEMENT A COURT ET MOYEN TERME, LES FREINS A LEVER ET LES LEVIERS A MOBILISER	24
2.1. Une maturité technologique variable selon le type d'outils.....	24
2.2. Des références technico-économiques peu disponibles, un accompagnement technique dépendant essentiellement des constructeurs et distributeurs	26
2.3. Un dispositif de formation et de conseil prenant insuffisamment en compte cette révolution technologique.....	29
2.4. Un coût élevé de ces nouvelles technologies pouvant être rédhibitoire	31
2.5. Le risque lié à l'utilisation de ces nouvelles technologies n'est supporté que par l'exploitant.....	34
2.6. Une approche territoriale multi partenaires dans le cadre de la transition agroécologique	37
2.7. Des freins réglementaires en partie levés	38
CONCLUSION.....	40
ANNEXES	41
ANNEXE 1 : LETTRE DE MISSION	42
ANNEXE 2 : NOTE DE CADRAGE	44

ANNEXE 3 : LISTE DES PERSONNES RENCONTREES.....	53
ANNEXE 4 : LISTE DES SIGLES UTILISES.....	56
ANNEXE 5 : BIBLIOGRAPHIE	58
ANNEXE 6 : SYSTEME RTK.....	60
ANNEXE 7 : LE RESEAU RTK CENTIPEDE	62

RESUME

L'agriculture de précision, à savoir l'ensemble des pratiques agricoles qui, grâce aux techniques de pointe, prennent en compte les caractéristiques de chaque parcelle et ajustent ainsi dans l'espace et dans le temps les interventions des machines et les applications d'intrants.

Elle permet la diminution de l'utilisation des fongicides et insecticides en évitant les traitements lorsque les conditions pédoclimatiques d'apparition des maladies et insectes ne sont pas réunies et cela grâce à l'utilisation d'outil d'aide à la décision. La pulvérisation des produits de traitement peut être ciblée sur les plantes à traiter à l'aide d'outils équipés de caméras, de système GPS précis et d'intelligence artificielle.

De la même manière, il est possible de diminuer l'utilisation d'herbicide en ne traitant que les adventices voire d'adapter les traitements à effectuer à partir de la reconnaissance des adventices présentes.

Cette même technologie peut aussi être installée sur les outils de désherbage mécanique permettant ainsi de ne plus utiliser de produits phytopharmaceutiques.

Pourtant l'agriculture de précision est peu développée même s'il n'existe pas de chiffres précis faute d'observatoire quantifiant cette évolution.

Plusieurs raisons peuvent être évoquées :

- La nécessité de disposer d'outils fiables, matures et d'études technico-économiques,
- La formation et l'accompagnement obligatoires pour maîtriser les nouvelles technologies,
- L'obligation de revenir à des pratiques agronomiques plus complexes et exigeant plus de temps de travail,
- Le coût tant en investissement qu'en temps de travail est également un frein au déploiement de l'agriculture de précision.

Enfin il ne faut pas négliger le fait que, pour convaincre l'exploitant de l'intérêt d'utiliser ces outils, la démonstration doit être territorialisée permettant à chacun de se projeter.

Continuer à soutenir de manière ciblée la recherche, à aider aux investissements et à mettre en place des formations ainsi qu'un accompagnement de proximité parfois sur plusieurs années peuvent contribuer au but recherché.

Mais cela prendra du temps. Le recours à des prestations de services permettrait d'accélérer le déploiement en limitant les investissements et en garantissant la maîtrise des outils.

Mots clés : agriculture de précision, produits phytopharmaceutiques, agroécologie

LISTE DES RECOMMANDATIONS CLASSEES PAR PRIORITE

R3. Montrer l'usage de ces nouveaux outils et démontrer leur pertinence technico-économique dans les territoires par la mise en place de sites expérimentaux et de réseaux locaux de fermes de référence

- Pour cela, il convient d'organiser (notamment dans le cadre du plan Ecophyto 2030) des sites de référence et de démonstration pluriannuels qui intègrent l'usage des nouvelles technologies de précision dans le cadre d'une approche combinant tous les outils de l'agroécologie. Ces sites et réseaux auront pour objectif de montrer et de démontrer aux exploitants agricoles l'utilité de l'agriculture de précision et leur permettre ainsi d'échanger.

- L'intégration dans ce dispositif de groupes de progrès Ecophyto, réunissant un animateur pour 10 à 15 exploitations agricoles « groupes 30 000 », est nécessaire.

R1. Dans le cadre du programme France 2030 et Ecophyto 2030, il convient de :

Soutenir la recherche et le développement conduisant à l'industrialisation des outils robotiques autonomes avec un axe particulier sur les filières orphelines: semences, horticulture, cultures légumières, PPAMC,

- **Initier** la conduite de programmes de recherche / développement comparatifs pour les différentes technologies matures que sont la pulvérisation ultra-précise, le désherbage mécanique de précision mais aussi les Outils d'Aide à la Décision (OAD). L'offre d'OAD (modélisation en santé des plantes) existe mais elle est morcelée, incomplète et pas toujours mise à jour pour faire face aux enjeux agroécologiques et climatiques,

- **Financer**, à hauteur de 40%, le déploiement de ces outils (ceux considérés comme matures) auprès des agriculteurs, CUMA ou ETA et les financer avec une obligation de formation et un accompagnement technique des exploitations agricoles. Un cahier des charges précis mais sans distinction de marques et une ouverture des guichets prévisible et régulière (annuelle) doivent permettre à la fois aux industriels et aux exploitants de construire un plan d'investissement s'intégrant dans une démarche agroécologique.

R2. Créer un portail des ventes et des références technico-économiques pour le matériel de précision

- Créer un portail des ventes des outils de précision : robotique, guidage de précision (lutte mécanique et chimique), Outils d'Aide à la Décision (OAD) avec une maille nationale et une déclinaison régionale. Au moins pour le matériel subventionné, il est nécessaire de mettre en place une traçabilité permettant de connaître le nombre de machines vendues par type de technologies de précision (FranceAgriMer et constructeurs/distributeurs). Cette mission pourrait être confiée à la chaire AgroTIC.
- Mettre en place une base de données référençant les analyses technico-économiques comparatives d'utilisation notamment sur les sites de référence Ecophyto.

R4. Accélérer la mise à disposition réussie de ces outils de précision :

- En optimisant la complémentarité entre les différentes sources de financement notamment entre l'Etat et les régions,
- En instaurant un chèque conseil associé à l'investissement réalisé en agriculture de précision à vocation agroécologique permettant ainsi de conforter l'accompagnement par la formation continue et l'appui technique.

R7. Faire évoluer la réglementation :

- En définissant les conditions de circulation des véhicules autonomes dans le code de la route pour permettre à minima l'utilisation des chemins vicinaux.
- En facilitant les transitions vers une réduction des doses hectares permise par la pulvérisation de précision en adaptant les AMM des substances ou des spécialités commerciales à ces nouvelles technologies.

R5. proposer une prise en charge partielle du risque induit par la plus grande complexité apparente de l'agriculture de précision

Pour cela, plusieurs pistes restent à travailler, à consolider et donc à soutenir.

- Créer des systèmes assuranciers complémentaires ;
- Déployer une agriculture de la fonctionnalité ;
- Intégrer cette prise de risque dans le cadre d'aides publiques ou privées de type MAEC, PSE.

R6. Décliner dans les territoires ces nouvelles techniques issues de l'agriculture de précision dans le cadre d'un pilotage régional et départemental

- en y associant les collectivités régionales et locales mais aussi les organismes économiques de l'amont à l'aval concourant à la mise en place des transitions alimentaires et agroécologiques
- avec l'appui de cellules RIT (Recherches-Innovation-Transfert) qui seraient spécialement orientées vers le déploiement des techniques de l'agriculture de précision dans le cadre d'une transition agroécologique.

Le pilotage régional doit pouvoir orienter techniquement les réseaux d'expérimentation et de démonstration déployés localement et ainsi développer une politique de démultiplication des bonnes pratiques.

INTRODUCTION

La seule définition réglementaire de l'agriculture de précision est celle donnée dans le Vocabulaire de l'agriculture et de la pêche (liste de termes, expressions et définitions adoptés) paru au Journal Officiel n°0121 du 27 mai 2021. L'agriculture de précision est ainsi définie :

« Ensemble des pratiques agricoles qui, grâce aux techniques agricoles de pointe, prennent en compte les caractéristiques de chaque parcelle et ajustent ainsi dans l'espace et dans le temps les interventions des machines et les applications d'intrants ».

Mais le plus souvent l'agriculture de précision est définie par les objectifs qu'elle doit permettre d'atteindre à savoir améliorer les performances des exploitations agricoles d'une part, mais aussi réduire la consommation des intrants.

Elle a aussi été définie internationalement en 2019 par l'ISPA (International Society for Precision Agriculture) de la manière suivante : « L'agriculture de précision est une stratégie de gestion qui rassemble, traite et analyse, les données spatiales, temporelles et individuelles et les combine avec d'autres informations pour orienter les décisions de gestion en fonction de la variabilité en vue d'améliorer l'efficacité des ressources, la productivité, la qualité, la rentabilité, et la durabilité de la production agricole ».

Le concept d'« agriculture de précision », apparu dans les années 1980, avait pour objectif « d'apporter la bonne dose, au bon endroit ». Il reposait sur le constat que, toute parcelle agricole est un milieu vivant et hétérogène. Il convenait d'avoir une approche agronomique de la variabilité intra parcellaire avec pour conséquence une modulation des intrants. L'agriculture numérique, apparue plus récemment, a permis d'ouvrir de nombreuses perspectives vers une agriculture de plus en plus précise. Aujourd'hui, l'objectif est d'utiliser la bonne pratique de protection des cultures (mécanique, chimique...) au bon endroit et au bon moment.

Pour parvenir aux résultats escomptés de nombreuses solutions sont proposées reposant sur l'amélioration de la robotique, l'exploitation de données satellitaires ou de drones, de capteurs et de logiciels adaptés permettant d'analyser et combiner toutes ces données.

Dans le cadre de cette mission, focalisée sur l'agriculture de précision et la diminution des produits phytopharmaceutiques, ne seront pas développées les pratiques diminuant d'autres intrants. De même toutes les avancées en matière de biocontrôle et de génétique ne seront pas abordées.

La mission a pris le parti de présenter les différentes solutions proposées par l'agriculture de précision en l'abordant par type de produits phytosanitaires ciblé.

Dans une première partie sont donc présentées les solutions apportées par l'agriculture de précision en vue de diminuer l'utilisation d'insecticides, de fongicides et d'herbicides.

Dans un deuxième temps, nous développerons les différents freins au déploiement de ces techniques et, partant de ces constats, les leviers à activer.

La présentation des solutions proposées en agriculture de précision ne se veut pas exhaustive ; le foisonnement des start-up et le manque de données précises rendant cet exercice impossible.

Il faut aussi rappeler en préambule que l'agriculture de précision est une solution parmi d'autres et son utilisation doit se faire dans le cadre d'une approche combinatoire associant toutes les autres possibilités qu'elles soient agronomiques, génétiques et de biocontrôles quand elles existent.

1. PREMIERE PARTIE : LES TECHNIQUES UTILISEES EN AGRICULTURE DE PRECISION »

1.1. LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS ET LES MALADIES : un nombre de solutions relativement peu nombreuses et souvent peu développées

1.1.1. Détecter les risques d'apparition des maladies et des ravageurs : les outils d'aide à la décision (OAD)

A partir de l'utilisation de capteurs permettant de suivre l'évolution du cycle biologique de la maladie ou du ravageur en lien avec une ou plusieurs stations météo agricoles, il est possible de modéliser le risque parasitaire et donc d'intervenir au bon moment.

Les stations météo connectées sont des appareils physiques que l'on installe sur des emplacements stratégiques des parcelles. Ils sont pourvus d'un ou plusieurs capteurs, utilisés pour mesurer différents paramètres agro-météorologiques : thermomètre, baromètre, pluviomètre, anémomètre, capteur d'humectation, sondes capacitatives et tensiomètres... Ils transmettent les données météo brutes recueillies à une application numérique, consultable 24h/24 et 7j/7 à distance sur un support mobile (smartphone ou tablette).

Actualisées en temps réel, ces données ultra localisées fournissent aux agriculteurs des informations précises et fiables sur les conditions climatiques de leur exploitation. L'outil d'aide à la décision (OAD) analyse les données transcrites sous forme de tableaux, graphiques et propose des conseils agronomiques.

Les OAD spécifiques pour l'optimisation de l'efficacité des produits phytopharmaceutiques sont les plus complexes car ils nécessitent la prise en compte de nombreux paramètres pour bien maîtriser le risque d'apparition de maladies (sol, espèces, météo ...). Il faut donc recueillir un grand nombre de données pour élaborer un modèle fiable. Souvent plusieurs années (minimum trois selon le négoce agricole) sont nécessaires pour obtenir un modèle solide.

De plus pour une maladie il est nécessaire d'établir autant de modèles que d'espèces de plantes voire même de variétés. Toute la difficulté est donc de disposer de données suffisantes pour atteindre un modèle prédictif fiable.

Bien utilisés ces OAD permettent de **sécuriser** en anticipant l'arrivée des maladies et des ravageurs et **d'économiser les traitements** (30% d'antifongique en moins sur les pommes de terre) en ne traitant pas systématiquement.

Les outils sont nombreux, l'ACTA en a dénombré plus de 130 dans le domaine de la protection des cultures. Ils peuvent être développés par les chambres d'agriculture, les instituts, météo France mais aussi par les fabricants de produits phytopharmaceutiques. Pourtant certaines cultures ne disposent pas de modèles faute de données suffisantes.

Les OAD selon les filières

Les OAD sont fiables en viticulture, arboriculture, céréales, pomme de terre, betterave, légumes de plein champ.

En viticulture l'utilisation concerne la lutte contre les maladies. La lutte contre les insectes étant principalement basée sur le bio contrôle, (confusion sexuelle).

En maraichage, la diversification des plantations voire des espèces au sein d'une même parcelle ne permet pas le déploiement de ces outils hormis pour les grandes cultures de légumes (haricot par exemple).

En arboriculture il existe des modèles (pomme...) mais la multiplication des variétés permettant de récolter des fruits pendant toute la saison complexifie l'utilisation des modèles au sein d'une exploitation agricole. Plusieurs modèles sont cependant déjà utilisés. On peut citer la tavelure du pommier ainsi que sur la mirabelle. Dans l'Est les vergers de mirabelliers s'étendent sur une surface importante ce qui permet le recueil de nombreuses données qui assurent la fiabilité du modèle.

Ils sont peu développés en horticulture pour les mêmes raisons de diversification au sein d'une même parcelle.

En grandes cultures ils sont utilisés d'une manière combinée avec une approche agronomique globale portant sur les rotations et assolements. Le choix de variétés plus ou moins résistantes permet de limiter l'utilisation des fongicides. L'OAD n'est, de fait, pas toujours l'outil privilégié.

Mais il ne faut pas oublier que l'exploitant règle ses paramètres selon le risque qui lui semble acceptable. Plus l'exploitant se rapproche du risque zéro moins l'OAD permettra des économies de traitement. Aussi pour être bien utilisés ces outils nécessitent un accompagnement durant deux ou trois ans. Temps nécessaire pour instaurer la confiance dans le modèle.



Photo : site agro ressource. Station météo connectée

Le coût d'une station météo performante en agriculture se situe entre 500 et 1000 € TTC * auquel il faut ajouter le prix de l'abonnement annuel pouvant varier de 200 à 600 € selon les performances. Pour l'outil TAMEO de météo France et Arvalis l'abonnement annuel est de 600 € par an pour 25 parcelles.

S'il existe des variations de climat entre parcelles, plusieurs stations météorologiques seront nécessaires.

A l'inverse si le climat est quasiment identique sur de grandes zones voire à l'échelle d'un département les stations peuvent être communes et les conseils proposés par l'OAD adressés à tous les exploitants concernés. Cela peut être le cas dans des zones de grandes cultures s'il n'y a pas mélange de variétés.

Utilisation : compte tenu du nombre important d'OAD développés par différents acteurs, il n'a pas été possible d'avoir des chiffres précis sur l'utilisation de ces outils. Les pourcentages annoncés sont des tendances recueillies lors des entretiens.

* source site station mteo.io

Ils sont présents dans 85% du vignoble champenois alors que seul un tiers des viticulteurs les utilisent dans le cognaçais.

En grande culture le taux d'utilisation se situe entre 10 et 15%.

Dans la filière pomme de terre le chiffre peut monter à 85 % car imposé dans les contrats des usines (Vico et McCain par exemple).

Les années 1980 à 2000 ont permis en France de réelles avancées technologiques et agronomiques sur l'élaboration et la diffusion des modèles de prédiction de l'évolution des attaques parasitaires des plantes notamment grâce au travail des services de la protection des végétaux et des instituts techniques agricoles. Force est de constater que l'innovation technologique dans ce domaine est devenue faible ou inexistante pour certaines filières.

Des diffuseurs de modèles auprès des agriculteurs (coopératives, instituts techniques, firmes phytosanitaires...) nous alertent sur la nécessité de relancer une recherche agronomique sur l'usage des modèles de santé des plantes afin de participer à l'optimisation et donc à la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques.

1.1.2. Reconnaître les insectes

La gestion raisonnée des insecticides a toujours nécessité d'avoir une vision de la propagation des insectes sur la micro région (notamment grâce aux bulletins de santé du végétal « BSV ») mais aussi à la parcelle.

Plusieurs outils de précision sont aujourd'hui expérimentés permettant de faciliter la reconnaissance et l'observation. On peut citer en particulier :

Dans le cadre de la lutte contre la flavescence dorée

L'Installation de pièges à insectes équipés de caméras permet la reconnaissance et le décompte des cicadelles (insecte vecteur de la flavescence dorée). Le traitement contre les adultes de la cicadelle n'est alors déclenché qu'au-delà d'un seuil minimal de captures.

En expérimentation pour le moment (65 pièges sont installés dans le vignoble de Cognac)



Crédit photo : BNIC/Stéphane Charbeau

La Détection des doryphores dans les champs de pomme de terre

Détection grâce aux images captées par des caméras embarquées par des drones. Le déclenchement du traitement se fait en fonction du nombre de doryphores détectés.

1.1.3. Détecter la maladie

Le suivi des maladies dans chaque micro région agronomique (BSV) et à la parcelle est nécessaire. Le diagnostic est aisé. En effet il existe de nombreuses applications permettant le diagnostic de maladie via un smartphone.

Mais dans les parcelles en grandes cultures, pour les ravageurs et les maladies, les outils technologiques actuels ne permettent pas de détecter la distribution de ces bio agresseurs ce qui implique le traitement la parcelle dans sa totalité.

En arboriculture et viticulture lorsque la maladie est présente ou son apparition prévue par les modèles épidémiologiques, il faut traiter l'ensemble de la parcelle au plus tôt. Donc il y a peu d'économie possible en terme de fongicides ou insecticides.

Toutefois dans le Cognac, une expérimentation est en cours avec l'installation de capteurs de stress. Placés sur les rameaux, ils détectent le stress hydrique et celui lié aux maladies. Les capteurs enregistrent l'activité électrique du phloème de la vigne. La modélisation de l'activité électrique liée à l'apparition du mildiou grâce à l'intelligence artificielle permet la détermination pré symptomatique de la maladie.



Les capteurs sont alimentés par des panneaux solaires et composés de 8 paires d'électrodes permettant de suivre l'activité de 4 pieds de vigne. - crédit photo : Vegetal Signals

De même la reconnaissance de la flavescence dorée par capteurs est en phase de recherche.

1.1.4. Pulvériser de manière ciblée

L'objectif est de ne pulvériser le produit que s'il y a présence de plantes. Ainsi en viticulture il existe des capteurs qui reconnaissent la présence de cep, de feuilles et donc de ne pulvériser qu'à bon escient.



©Le dispositif SMAC proposé par la société DiiMotion coupe la pulvérisation lorsque les capteurs de la rampe ne détectent pas de feuilles. © DiiMotion

Ce kit adaptable sur tous les pulvérisateurs verticaux promet 38% d'économie de produits. Il est sur le marché depuis 2020.

Voire ultra ciblée : la Société Ecorobotix commercialise un pulvérisateur ultra précis présenté de façon détaillée dans la deuxième partie, et travaille aussi sur la possibilité d'utiliser cette pulvérisation de précision pour appliquer les traitements antifongiques voire de bio contrôles.

De même le futur smartplayer pulvérisateur ultra ciblé mis au point par Bosch BASF et Amazone envisage aussi les traitements fongicides en pulvérisation ciblée.

Pour la diminution des fongicides et insecticides, l'agriculture de précision permet une réduction des produits en évitant le ou les premiers traitements grâce aux OAD notamment en viticulture,

grandes cultures et légumes de plein champ. Elle permet également d'éviter les pertes de produits en ne pulvérisant que sur les plants à traiter en viticulture.

Les seules solutions existantes liées à l'agriculture de précision pour diminuer les insecticides et les fongicides sont donc essentiellement les OAD. Les autres pistes restent limitées à la filière viticole ou sont encore en expérimentation. La prise en charge des abonnements des deux premières années d'utilisation des OAD pourrait être une piste pour convaincre les exploitants agricoles d'essayer ces nouvelles pratiques.

1.1.5. Diminuer les doses

Lorsque le traitement est nécessaire, les économies de produits phytosanitaires ne peuvent être obtenues que par une maîtrise de l'application du produit.

Bien qu'il ne s'agisse pas d'agriculture de précision, plusieurs pistes permettant de diminuer l'utilisation des produits ont été mises en avant :

- la maîtrise du réglage des pulvérisateurs qui devrait être un préalable à leur utilisation ;
- la maîtrise des préparations de produits à épandre ;
- la réduction des doses à l'hectare ;
- le traitement partiel de la parcelle.

Aujourd'hui malgré la mise en place d'un contrôle technique du pulvérisateur, la qualité du travail de pulvérisation reste mal maîtrisée.

En premier lieu, les appareils neufs n'ont pas d'obligation du contrôle technique pendant 5 ans. On peut donc constater des défauts de réglage dans la mise en fonctionnement des matériels neufs et cela pendant 5 ans.

40 % des agriculteurs ne maîtrisent pas le réglage de leur pulvérisateur. La formation continue des agriculteurs pourrait conduire à une diminution de l'usage des produits phytosanitaires de 20 à 30%. La mise en place d'un permis de pulvérisation pourrait être envisagé.

De plus 80 % des pulvérisateurs (250 000 en France) ne sont pas au niveau technologique et le renouvellement ne dépasse pas 10% par an. Pour augmenter de manière significative le nombre de pulvérisateurs performants, il serait plus pertinent de financer les remises à niveau que l'achat de nouveaux appareils.

Le recours aux ETA ou aux CUMA disposant de salariés expérimentés garantit l'utilisation de pulvérisateurs bien réglés et le respect de la réglementation.

Maitriser les préparations pour éviter le gaspillage.

Une solution serait que les firmes phytosanitaires acceptent d'homogénéiser les concentrations de la bouillie et donc la dilution à faire à partir de la spécialité commerciale. Actuellement, les spécialités commerciales phytosanitaires peuvent être sous forme liquide ou solide et ont un facteur de dilution pouvant aller de 1 à 1000 alors qu'il faudrait ne pas avoir une variabilité dépassant un facteur 10 pour pouvoir travailler sur la précision du dosage. L'homogénéisation des spécialités commerciales permettrait en particulier de généraliser l'injection directe. De ce fait, le dosage de la bouillie pulvérisée serait alors calculé à partir de la cuve où se trouve le produit phytosanitaire et non plus à partir de la cuve où sont mélangées la spécialité phytosanitaire et l'eau. Cela aurait pour effet d'éviter de jeter les fonds de cuve en fin de traitement sur la parcelle et d'améliorer la précision de la pulvérisation. Celle-ci peut varier de plus de 20 % actuellement du fait de la forte variabilité de la pulvérisation du mélange produit phyto et eau = bouillie pulvérisée.

Réduire la dose utilisée.

Peu d'études ont été réalisées. Mais attention aux phénomènes de résistance qui pourraient apparaître si la concentration diminue trop fortement. Par contre, l'adaptation du volume à la réalité du développement végétatif existe déjà (ex en vigne).

Ne traiter que la partie la plus rentable de la parcelle.

L'objectif est de diminuer l'utilisation en modulant les doses de produits phytosanitaires appliqués. On ne traite alors que les zones les plus rentables de la parcelle ; L'application de traitements sur des plantes dont le rendement est faible n'apportant pas de plus-value. Mais cette stratégie n'est intéressante que pour des parcelles très hétérogènes en terme de qualité du sol. Cela est souvent lié au remembrement de terrains très disparates.

1.2. LUTTE CONTRE LES ADVENTICES : des solutions plus variées mais restant également peu déployées

1.2.1. Les OAD

La présence d'adventices est plus liée aux conditions culturales qu'à la météorologie. Les OAD ne présentent donc que peu d'intérêt sauf pour déterminer les conditions favorables au désherbage.

1.2.2. Des technologies numériques utilisant des données satellitaires, des caméras à haute définition et l'intelligence artificielle

Permettant de reconnaître le lieu précis où la plante a été semée.

Systèmes de guidage ou d'autoguidage embarqués sur le tracteur. Le système enregistre précisément à 1 cm près l'endroit où le semis a été effectué. Lors du traitement ou du désherbage le système sait où agir mais il faut utiliser le même tracteur que lors du semis

Basé sur le GPS RTK (real time kinematic), il permet de corriger en temps réel les données GPS. Attention le système GPS seul ne sert à rien car trop peu précis (de l'ordre du mètre), il faut nécessairement un système de correction (station RTK) reliée aux différents satellites (annexe 6).

L'INRAE développe des systèmes de correction locale disponible gratuitement mais non compatibles avec la robotique. Il s'agit du réseau « centipède » initié par un chercheur INRAE et co construit avec le concours d'acteurs de terrain (annexe 7)



bineuse équipée d'un système RTK .site triple performance.

Technologie mature bien rodée, le GPS RTK est utilisable de jour comme de nuit.

Le coût abordable (de 10 à 15 000 €) mais il faut soit un nombre d'hectares important, soit utiliser le système pour la réduction d'autres intrants afin d'amortir l'achat.

De détecter les adventices et les reconnaître

Basés sur des capteurs embarqués (caméras) sur les outils ou sur les drones. Ces capteurs détectent les adventices et peuvent les reconnaître grâce à l'intelligence artificielle.

C'est intéressant si l'on détecte les adventices dès leur apparition avant l'envahissement total du champ ou si le mode de dissémination fait que les mauvaises herbes restent plutôt groupées. C'est le cas des chardons, du datura et de l'ambroisie. Trois entreprises font des offres spécifiques pour lutter contre ces adventices en alliant détection et traitement ciblé.

- La détection en post récolte et le repérage des vivaces ;

Il s'agit de détecter la chlorophylle grâce à l'utilisation de capteurs (caméra) dits Green seekers qui distinguent les vivaces (vertes) du reste du champ (jaune).

Détection selon la technologie de la « lumière rouge » qui détecte la chlorophylle du végétal encore vivant. (Voir annexe 7)

Coût autour de 15 000 €.

La technologie avec des capteurs reconnaissant les adventices sur sol nu permet un débit de chantier important avec une vitesse pouvant dépasser les 15 km/h.

- Détection en plein champ

Possible suite au développement de la recherche. Les capteurs caméras sophistiqués sont équipés d'une intelligence artificielle permettant de reconnaître l'adventice à traiter. La technologie est récente (2019).

Technologie prometteuse mais encore au stade de prototype mais qui nécessite plus de temps lié à la reconnaissance de la plante. De plus si l'on souhaite traiter avec des produits spécifiques à chaque adventice présente, plusieurs passages seront nécessaires.

Repose sur l'utilisation de caméras hyper spectrales ou de caméra RGB (Red, Green ; Blue) (voir annexe 6).

L'étape fondamentale est ensuite celle qui se déroule dans l'ordinateur du système, avec une intelligence artificielle qui identifie l'adventice au milieu des cultures. Un apprentissage est nécessaire pour chaque adventice susceptible d'être présente dans une culture donnée. Par exemple, il faut « gaver » l'intelligence artificielle d'images de liserons dans le maïs ou de vulpin dans le blé pour qu'elle réussisse à les identifier correctement par la suite.

Cette capacité de reconnaître soit le lieu de plantation soit les adventices permet une agriculture de précision en ciblant la plante recevant le traitement ou en la supprimant.

Ces caméras peuvent équiper des outils de pulvérisation ou de désherbage mais également être installés sur des drones permettant la détection des ronds de vivaces. En 2021, l'Institut technique de la betterave a expérimenté avec la société Alteia une solution d'imagerie drone pour cibler et traiter les ronds de chardons. Cette adventice vivace est répartie en taches, et se prête bien à cette solution qui permet de réduire l'IFT. La baisse est de 85 % d'utilisation de produits.



drone équipé de caméra

Photo site agriavis Jean Moullart caméra greenseeker france

Photo : DJI Authorized retail store

Les chambres d'agriculture des Hauts de France testent depuis 2019 la détection des ronds de chardons sur maïs et betterave avec pour objectif de proposer à terme ce service si les économies de produits permettent de couvrir les frais de prestations. Dans les premiers tests l'économie de produit varie de 70 à 90%.

1.2.3. L'utilisation de ces nouvelles technologies permet :

La pulvérisation ciblée.

- Pulvérisation ciblée standard :

La pulvérisation ciblée appliquée au désherbage consiste à équiper la rampe du pulvérisateur de capteurs qui détectent les adventices en temps réel et déclenchent l'ouverture des buses situées au niveau des mauvaises herbes. Cette détection peut se faire sur sol nu (détection de vert sur marron) pour les herbicides non sélectifs ou sur culture (détection de vert sur vert) pour les traitements sélectifs. Plus sophistiquée, cette dernière solution est plus récente.

Grace à la détection des adventices par capteurs, le produit n'est pulvérisé qu'en cas de présence de l'adventice.

Selon des essais menés par ARVALIS ce système permet d'économiser de 40 à 95 % de produits phytopharmaceutiques.

Dans la majorité des pulvérisateurs, la pulvérisation fait 50 cm de diamètre ; donc cette technique ne permet pas d'économie de produits phyto si l'on retrouve des adventices disséminées sur l'ensemble du champ.

Pour être efficace mieux vaut utiliser un produit phytopharmaceutique spécifique de l'adventice à traiter plutôt qu'un produit plus générique afin d'éviter l'apparition de résistance.

Dès lors, lorsqu'une parcelle est contaminée par plusieurs adventices (chardon, datura et ambrosie) trois passages sont nécessaires si l'on veut utiliser des produits spécifiques et non un herbicide générique.

Les limites de cette technique sont donc liées au temps passé plus important, de la nécessité de plusieurs passages pour traiter spécifiquement telle ou telle adventice et d'absence d'économie de produits en cas d'envahissement de la parcelle.

Le pulvérisateur « one smart spray » des sociétés Bosch, BASF et Amazone qui sera commercialisé en 2024 promet lui aussi une pulvérisation de précision et des économies de produits allant jusqu'à 70%. Son débit de chantier est de 12km/h. Les premières commercialisations concerneront le maïs, la betterave, le coton, le colza et le tournesol.

La « Smart Spraying Solution » offre une détection automatisée des adventices en temps réel et une pulvérisation de précision à la fois en pré-levée ("vert sur brun") et en post-levée ("vert sur vert"). Lorsque le pulvérisateur passe sur une parcelle, le système distingue en quelques millisecondes les cultures des adventices et contrôle les buses de pulvérisation individuelles avec une précision extrême. Il est utilisable de jour comme de nuit.

- Voire ultra ciblée ;

Pulvérisateur tracté avec caméra de reconnaissance des adventices et possibilité de régler la pulvérisation en hauteur pour ne cibler que la mauvaise herbe ou la plante cultivée. L'ensemble est entièrement protégé ce qui permet une utilisation de jour comme de nuit y compris lorsqu'il y a du vent.

Utilisables sur les cultures en rang, les robots pulvérisateurs de la société Ecorobotix déposent le produit sur l'adventice au cm près sans toucher la plante cultivée mais cela nécessite actuellement beaucoup de temps et donc revient cher. Les premiers essais montrent une diminution de 70 à 90 % des doses.

De plus la plante cultivée ne recevant plus aucune doses d'herbicide, les rendements seront améliorés en l'absence de phytotoxicité contrairement à une pulvérisation classique.

Le débit de chantier n'est que de 7,2 km/h soit 4ha/h et la largeur de l'appareil de 6 m seulement.

L'outil est encore dans la phase de démarrage. Il est utilisé sur légumes de plein champ avec notamment 10 000 hectares d'oignon désherbés en 2023 et le sera bientôt sur céréales.

Coût : 115 000 € +5000 € de licence annuelle.

En prestation, le passage est actuellement facturé 120 euros par hectare. Avec un parc plus conséquent et une utilisation plus fréquente, le coût de la prestation par hectare pourrait tomber à 50 euros ce qui serait compétitif par rapport à un traitement chimique classique (20 euros sans le produit) du fait de la forte réduction de l'usages des phytosanitaires et la moindre phytotoxicité.

Robot ARA



Le désherbage mécanique précis

Le système RTK et les caméras peuvent également équiper des outils de désherbage.

- Herse étrille

Une nouvelle génération de herses étrilles équipées de capteurs spéciaux permet de maintenir automatiquement la profondeur du travail. C'est particulièrement intéressant pour les sols hétérogènes.

Exemple de la Herse étrille TREFFLER

L'indépendance des dents et le réglage de la pression exercée sur le sol piloté en permanence permettent un désherbage optimum.



Coût : 40 000 € pour équiper une herse étrille classique.

Photo ; brochure TREFFLER

- Les bineuses

La bineuse désherbe les inter-rangs des cultures en ligne, elle ne travaille donc pas toute la surface. Cependant certaines solutions peuvent être ajoutées à la bineuse pour désherber l'intra-rang. La bineuse est composée d'éléments bineurs pour chaque inter-rang. Elle peut être utilisée de manière frontale mais également portée derrière le tracteur. Il existe différents inter-rangs. Les socs entre les rangs sont interchangeable afin de s'adapter aux différentes conditions. Grâce à ses éléments, la bineuse coupe ou déchausse les racines des adventices. La largeur de la bineuse est généralement de 3 à 6 m mais peut atteindre des largeurs jusqu'à 27 m pour les plus grands modèles

Les bineuses peuvent être équipées d'éléments de pulvérisation sur le rang, elles sont alors appelées désherbineuses moins utilisées depuis les progrès faits par les outils de désherbage. De plus les conditions optimales d'utilisation de la bineuse sont contradictoires à celles nécessaires à la pulvérisation.

Mais pour pouvoir utiliser une bineuse, il faut que les conditions météorologiques soient favorables (pas de pluie dans les 24 heures avant le binage et un temps sec attendu dans les 36 heures qui suivent le passage). Ces conditions freinent souvent leur utilisation.

La mise en commun de bineuses se heurte au fait que tous les exploitants ont le même besoin au même moment et les créneaux favorables à l'utilisation sont donc restreints. Pour autant, l'utilisation de ces outils par des entrepreneurs de travaux agricoles ou des CUMA se développe dans certaines régions.

Différents types de guidage existent :

La bineuse avec guidage par système GPS RTK

Le système RTK guide le tracteur et donc la bineuse selon les lignes préenregistrées au moment du semis. Le RTK est le seul système GPS qui permet la précision centimétrique et la répétabilité, indispensable pour biner au plus près du rang. L'équipement nécessaire est une antenne positionnée sur le tracteur et un abonnement. Pour assurer la réussite, la bineuse doit être bien attelée sur le tracteur : elle doit avoir précisément le même écartement et positionnement qu'au semis.

Le débit de chantier d'une bineuse 12 rangs (à 45 cm d'écartement) est d'environ 4 ha/h avec autoguidage. Le système est utilisable de jour comme de nuit.

Le système existant depuis plus de 10 ans a prouvé son efficacité. Toutefois du matériel moins fiable et moins précis, venant de Chine notamment, se retrouve sur le marché français.

Coût : Le RTK sur le tracteur uniquement revient à 10 000 € et il faudra ajouter 5 000 à 10 000 € pour l'équipement des outils.

La bineuse équipée de cameras

De nouvelles machines équipant les tracteurs avec capteurs et bineuses gérées par IA et pouvant progresser à 8 km/h sont de toute évidence une solution d'avenir. Elles sont d'un coût plus élevé que celui d'une bineuse classique.



Photo : le paysan breton Bineuse équipée de caméras

Bineuse guidée par palpeurs : le guidage par palpeurs nécessite une plante suffisamment développée et rigide et le guidage par cellules photoélectriques avec deux capteurs disposés de chaque côté du rang.

D'un coût de 7 000 € environ, les palpeurs n'offrent pas de gros débits de chantier. Les palpeurs interviennent dans un second temps, en relais des caméras, dans la mesure où la végétation devient trop importante avec le pied plus difficilement visualisable.

Le coût d'une prestation de désherbage mécanique est de l'ordre de 40 €/ hectare.

Pour effectuer un désherbage mécanique efficace, il est nécessaire de combiner l'utilisation de plusieurs outils, herse étrille, bineuse, houe rotative en fonction des différents stades de la plante et des conditions météorologiques.

Désherbage par Laser

Identification de l'adventice par cameras et envoi d'un faisceau laser qui chauffe et épuise la plante. Mais l'outil a besoin d'énergie pour produire le faisceau donc il est énergivore et lent. Pour le moment, il reste au stade de recherche et de premiers tests. Plusieurs sociétés développent des robots avec laser : Carbon robotics basé aux Etats unis, Weedbot en Lettonie, Ponchon SAS robot delta drylin en Allemagne.

Développés pour désherber les légumes de plein champ (carotte oignons ...) pour le moment, les chantiers sont lents pour certains robots 2km/h mais le dernier robot tracté de « carbon robotics » permet un chantier à 8km/h. C'est un secteur encore balbutiant qui doit trouver des solutions pour alimenter son robot en énergie « propre ».



Photo : c © Carbon Robotics robot de désherbage par Laser

Désherbage électrique

Le désherbage électrique à proprement parler consiste à faire passer un puissant courant électrique directement sur les plantes à supprimer jusqu'aux racines via une électrode touchant leur partie aérienne. Les adventices sont éradiquées, aussi bien les parties aériennes que les

parties souterraines. Les premiers tests ne montrent pas d'impacts négatifs sur les organismes vivants dans le sol. Il est un peu plus rapide que le laser 4 km/h mais tout autant énergivore.

La quantité d'énergie à fournir est d'autant plus importante que l'herbe est haute et les racines profondes et dépend aussi de l'humidité et de la résistivité du sol.

Le désherbage par laser ou électrique doivent encore être amélioré en augmentant les débits de chantier et en veillant à ce que le coût lié à l'approvisionnement en énergie ne rende ces outils non rentables.

1.2.4. Les robots autonomes

L'attente vis-à-vis des robots autonomes est d'une part d'alléger la pénibilité du travail et d'autre part de pallier à la pénurie de main d'œuvre.

Mais la réglementation en matière de sécurité des appareils régie par la directive européenne Machine 2006/42/CE impose la présence d'un humain à proximité. De plus lorsque le robot emprunte des « routes » publiques à plus de 6km/h, il est considéré comme véhicule sans chauffeur ce qui n'est pas prévu dans la réglementation actuelle du code de la route et donc interdit. Pour lever ces contraintes, certains constructeurs (NAÏO, slopehelper, cyclclair...) ont obtenu la certification sécurité (dépôt de brevet) leur permettant de travailler sans supervision. Le robot ne sort pas de sa parcelle et stoppe tout en présence d'un humain. Un simple smartphone en cas d'alerte suffit.

Un travail est en cours par les industriels pour établir une norme (horizon 2025-2030).

Une des principales critiques formulées reste cependant la vitesse d'avancement du robot (1 à 3 km/h avec une faible largeur de travail) générant un débit de chantier trop faible. Cela peut cependant être relativisé par la possibilité d'une augmentation de la plage horaire de travail pour les robots travaillant en autonomie (possible sur la parcelle).

Ces robots équipés d'électronique peuvent être dotés de systèmes de sécurité contre le vol.

Les robots sont pour l'instant souvent mono tâches et compte tenu de leur coût important de 100 à 200 000 € et de leur faible débit, ils se retrouvent sur les cultures à fortes valeurs ajoutées (viticulture et maraichage).

La parcelle doit être numérisée pour que le robot connaisse les limites d'intervention. Ce travail de numérisation réalisé une seule fois dans les cultures pérennes pourrait faire l'objet d'une prestation de service facilitant ainsi la prise en main de l'outil.



Exemple de robots utilisés en viticulture

Robot enjambeur TED de la société NAÏO permettant de désherber sous le rang. Robot autonome et ne nécessitant pas de supervision.

Photo : site internet NAÏO

Il existe aussi des robots de tonte par exemple le robot de la société Vitrirover. Le robot est capable de tondre les mauvaises herbes des pieds des vignes, et ce, en totale autonomie.



robot de tonte autonome

Photo : site internet de Vitrirover

Robot en arboriculture slope helper

Robot autonome, électrique et multi-tâches (une quinzaine de tâches actuellement). Développé en arboriculture. Il permet de désherber à l'aide d'une herse étrille et de tondre.



RoPhoto : société SECOMAT . Tonte

Robot en grandes cultures

Robot bineuse sur le rang et inter rang autonome développé par la société Cyclair. Pas encore sur le marché (2024), il est destiné dans un premier temps aux cultures de betteraves, maïs, tournesol et colza puis blé. La particularité du robot est que l'intelligence artificielle cherche à reconnaître la plante et non les vivaces contrairement aux autres systèmes.

La parcelle doit être délimitée grâce aux coordonnées satellites afin d'éviter de sortir du champ. Puis pour se déplacer à l'intérieur du champ le robot le fait en visuel grâce à des caméras lui permettant de repérer les rangs.

Utilisation des robots : On dénombre 600 robots en 2023 selon la répartition ci-dessous issue d'une enquête menée par l'observatoire de l'usage du numérique en agriculture. C'est un marché en émergence. Il y a cependant en 2023, 6 fois plus de robots qu'il y a 5 ans.



Observatoire de l'usage du numérique : répartition des robots selon les usages (actuellement essentiellement en viticulture et productions légumières en désherbage)chaire Agrobotic

On peut retenir de cette première partie la possibilité de diminuer ou de se passer de produits phytosanitaires dans le cadre d'une utilisation raisonnée des outils de précision.

Les OAD permettant de ne déclencher les traitements qu'au bon moment devraient être systématiquement utilisés lorsque les modèles sont consolidés. Il faut favoriser le déploiement de ces outils dans les filières qui n'en disposent pas.

Les systèmes d'autoguidage équipant les outils de désherbage facilitent le travail de l'exploitant permettant ainsi de se passer de produits chimiques. Ces systèmes, existant depuis plusieurs années, sont fiables.

Lorsque toutes les solutions agronomiques ont été mises en œuvre, le désherbage mécanique et la pulvérisation de précision permettent d'éviter ou de réduire fortement l'usage des produits phytopharmaceutiques.

Cependant, quelques soient les outils d'aide à la précision, ils nécessitent un accompagnement pendant plusieurs années pour être bien maîtrisés par la majorité des exploitants.

A noter toutefois que depuis des décennies l'objectif était de diminuer le temps de travail, la recherche d'alternatives aux produits phytopharmaceutiques désormais l'augmente.

	Lutte contre les ravageurs et maladies	Lutte contre les adventices
OAD	Développé en viticulture, arboriculture, grandes cultures et légumes plein champ	Sans objet
Détection insecte	expérimental	Sans objet
Détection maladie	expérimental	Sans objet
Pulvérisation ciblée	existant	existant
Pulvérisation ultraciblée	En développement et à venir	Existant sur pâture et cultures légumières et expérimental sur grandes cultures
Désherbage mécanique par binage	Sans objet	Par guidage RTK , caméras , palpeurs
Désherbage par laser	Sans objet	expérimental
Désherbage électrique	Sans objet	expérimental

2. DEUXIEME PARTIE : LES PERSPECTIVES DE DEPLOIEMENT A COURT ET MOYEN TERME, LES FREINS A LEVER ET LES LEVIERS A MOBILISER

2.1. Une maturité technologique variable selon le type d'outils

La robotique, dans le domaine de la protection des végétaux, est actuellement au début de son industrialisation et de sa commercialisation.

Ces robots sont principalement utilisés pour réaliser un désherbage mécanique en viticulture et cultures légumières. Seulement une quinzaine sont actuellement en fonctionnement en grandes cultures avec, par exemple, un début d'utilisation pour semer et désherber les betteraves.

Le marché de la robotique dans la perspective de réduire l'usage des phytosanitaires, est considéré par beaucoup d'acteurs comme « **émergent** ».

Les freins le plus souvent avancés pour son déploiement sont les suivants :

- Le coût d'achat et de maintenance,
- Le manque de formation et d'information,
- Le faible débit de chantier,
- Des aspects réglementaires pas toujours bien maîtrisés.

Ces technologies, qui répondent aujourd'hui à des usages particuliers (cultures nécessitant de nombreuses interventions à la parcelle et souvent à forte valeur ajoutée), restent à accompagner dans leur déploiement préindustriel. Cela permettrait aux potentiels utilisateurs de se rendre compte concrètement de l'intérêt et des conditions d'utilisation de l'outil sur le terrain.

L'utilisation en commun ou sous forme de prestation est sans doute une forme d'utilisation pouvant générer une accélération de l'utilisation de cette technologie innovante.

Le désherbage mécanique avec un guidage de précision peut être considéré comme mature.

Si près de 50 % des tracteurs sont aujourd'hui équipés de GPS embarqués, très peu d'agriculteurs utilisent des outils de binage avec guidage par GPS type RTK ou caméra.

Le binage de précision est aujourd'hui considéré comme mature par l'ensemble des acteurs de l'agro équipement et de l'agronomie. Il nécessite cependant beaucoup de vigilance technique avec une réflexion agronomique à la parcelle, à la culture et à la rotation ce qui complexifie son utilisation.

La pulvérisation de précision et ultra précise est déjà opérationnelle sur certains usages

Plusieurs opérateurs proposent des solutions de précision commercialisées soit en pulvérisateur automoteur, ou porté, ou trainé par un tracteur.

Les résultats d'essais montrent une possible réduction importante des quantités moyennes d'herbicides utilisés.

Technologiquement très abouti, le pulvérisateur Ara de la société Ecorobotix (pulvérisation ultra précise) constitue un exemple très intéressant d'avancée technologique en cours de déploiement sur le terrain en France et dans le monde.

Ces différents outils sont donc aujourd'hui diffusés et commercialisés. Pour autant nous manquons de références comparatives permettant d'orienter le choix des agriculteurs.

Différentes études commencent cependant à être publiées montrant l'utilité et l'efficacité de la technique.

D'autres expérimentations ont été conduites. Citons par exemple les premiers enseignements des tests réalisés par la coopérative Eureden (haricots d'Aucy) et la start-up/agro équipementier Ecorobotic sur la culture de haricot. Les conclusions montrent un résultat technique satisfaisant avec un enherbement comparable à une culture conduite en agriculture conventionnelle mais avec une réduction de 86% de l'usage des produits phytopharmaceutiques.

En conclusion de ce paragraphe, plusieurs freins ont pu être identifiés technologiquement pour permettre un déploiement rapide de ces technologies innovantes :

-Si le robot autonome est en train de trouver sa place sur certaines filières spécialisées (en viticulture, cultures légumières), des améliorations technologiques sont attendues sur les filières à moindre surface cultivée comme les PPAMC, les semences, l'horticulture mais aussi sur les grandes cultures. Le passage de l'expérimentation à l'industrialisation de l'outil reste une difficulté à prendre en compte dans les programmes d'accompagnement,

-La pulvérisation de précision et le désherbage mécanique de précision constituent des technologies matures et avec une preuve de concept réalisé et opérationnel. Il convient d'accélérer rapidement leur déploiement techniquement accompagné,

-Les algorithmes de reconnaissance des adventices et des cultures restent encore à déployer ou à consolider sur de nombreuses filières (environ 250 000 euros par culture pour faire le premier algorithme de base qui sera progressivement amélioré par l'analyse de son utilisation).

Les programmes de financement de France 2030 restent l'outil privilégié permettant d'accélérer la mise au point opérationnelle des technologies de la robotique et du guidage de précision (sur de nouvelles cultures). Ils doivent cependant être adaptés afin de répondre aux enjeux actuels en permettant l'industrialisation des outils robotiques et en massifiant les subventions sur les outils considérés comme mature : désherbage de précision et pulvérisation ultra précise.

Par contre des points d'amélioration sont attendus par les opérateurs de terrain. Le choix de certaines marques plutôt que d'autres, sur des gammes techniques proches, n'est pas compris par les acteurs de terrain. Cela peut conduire à une iniquité apparente. La lenteur des dispositifs de financement entre le dépôt du dossier et sa liquidation est soulignée ainsi que le manque de prévisibilité et de régularité de l'ouverture des guichets (la question de l'annualité est posée) ne permettant pas de s'inscrire dans un plan d'investissement à moyen terme.

R1. Dans le cadre du programme France 2030 et Ecophyto 2030, il convient de :

- **Soutenir** la recherche et le développement conduisant à l'industrialisation des outils robotiques autonomes avec un axe particulier sur les filières semences, horticulture, cultures légumières, PPAMC,
- **Initier** la conduite de programmes de recherche / développement comparatifs entre les différentes propositions commerciales sur les technologies matures que sont la pulvérisation ultra-précise, le désherbage mécanique de précision mais aussi les Outils d'Aide à la Décision (OAD). L'offre d'OAD (modélisation en santé des plantes) existe mais elle est morcelée, incomplète et pas toujours mise à jour pour faire face aux enjeux agroécologiques et climatiques,
- **Financer**, à hauteur de 40%, le déploiement de ces outils (ceux considérés comme matures) auprès des agriculteurs, CUMA ou ETA et les financer avec une obligation de formation et un accompagnement technique des exploitations agricoles. Un cahier des charges précis mais sans distinction de marques et une ouverture des guichets prévisible et régulière (annuelle) doivent permettre à la fois aux industriels et aux exploitants de construire un plan d'investissement s'intégrant dans une démarche agroécologique.

2.2. Des références technico-économiques peu disponibles, un accompagnement technique dépendant essentiellement des constructeurs et distributeurs

Il n'a pas été possible de quantifier le nombre d'équipements, constitués de technologies de précision, vendus en France (pas plus d'ailleurs pour les équipements subventionnés). Aucune base de données ne permet de remonter simplement ces chiffres. Le pilotage du déploiement de matériels de précision nécessite, au moins pour le matériel subventionné, de tenir à jour et connaître la réalité des ventes.

De plus, peu de références techniques, technico-économiques et sociologiques sont actuellement disponibles pour les collectivités publiques (état, régions...) finançant ces nouvelles pratiques. Il en va de même pour les conseillers agricoles chargés d'accompagner les agriculteurs et également les agriculteurs souhaitant mettre en place ces avancées technologiques.

Il est très difficile d'accéder à des panoramas précis des matériels de la robotique ou permettant le guidage pour le désherbage mécanique ou chimique de haute précision. Si ce n'est « à dire d'experts », nous n'avons pu collecter que très peu de références, avec pour autant des données de qualité très variable. Approcher la réalité de ce qui est vendu et ce qui est utilisé, reste peu précis. Il est également difficile d'accéder à des informations techniques fiabilisées (autres que commerciales) pour bien caractériser les avantages et inconvénients des différentes solutions aujourd'hui proposées.

Cette impression est très largement partagée par les acteurs-utilisateurs ou conseillers des utilisateurs. Les données technico-économiques sont fragmentaires. De nombreux acteurs verraient un intérêt évident à pouvoir disposer d'une compilation de l'information permettant de recenser et caractériser non seulement le matériel numérique ou de précision existant, son degré de maturité (de nombreuses bineuses de précision existent sur le marché avec des qualités et des

prix de vente très variables...) mais aussi les conditions pédoclimatiques et agronomiques nécessaires à une bonne utilisation.

Quelques initiatives très intéressantes existent cependant permettant de partager l'information sur l'agriculture numérique et de précision. Elles sont des exemples de ce qui serait nécessaire de regrouper et de consolider.

- La chaire AgroTIC

La chaire AgroTIC est dédiée au numérique agricole. Elle est constitutive d'un partenariat entre l'Institut Agro Montpellier, Bordeaux Sciences Agro, l'INRAe ainsi que 23 entreprises allant de la startup à des sociétés à vocation internationale travaillant sur les agroéquipements.

Outre l'aspect formation, la chaire AgroTIC travaille sur les différents enjeux portés par les technologies numériques apparaissant comme l'un des moyens de répondre au triple défi de la performance économique, environnementale et sociale.

Mais beaucoup de questions sont posées face au développement de ces outils : quelle est leur valeur ajoutée réelle, quelles en sont les possibilités et les limites et cela pour quels usages ?

La chaire AgroTIC contribue également aux échanges, aux partages d'information sur ces différentes thématiques.

Elle a notamment mis en place un observatoire des usages numériques en agriculture (<http://agrotic.org/observatoire>) qui constitue un des rares outils permettant de partager de l'information consolidée.

- Les groupes dephy et 30 000

La mobilisation des groupes de progrès (dephy, groupe 30 000) sur les avantages et limites de l'agriculture numérique/précision n'est pas suffisante. De nombreux interlocuteurs (des instituts techniques au syndicalisme agricole) regrettent l'absence de synthèse et avis technico-économiques sur la pertinence de ces outils mais aussi d'analyses sur la gestion du temps de travail et la difficulté de s'approprier ces révolutions technologiques.

- Des tests et expérimentations menés par des chambres d'agriculture, groupe d'agriculteurs biologiques commencent cependant à se déployer sur le terrain.

En complément et en lien avec le travail des instituts techniques, ces essais ou suivis parcellaires permettent aux exploitants agricoles de voir, comparer l'opérationnalité de certains outils proposés mais sont souvent assez peu valorisés suite à une méthodologie d'expérimentation qu'il convient de rendre plus robuste et plus comparative.

Le réseau de suivi du désherbage mécanique, constitué notamment par le réseau régional de l'agriculture biologique de Bretagne et celui de la chambre régionale d'agriculture (Ecophyto) a permis de caractériser les résultats de cette pratique durant la période 2005 à 2020.

936 agriculteurs en conventionnel ont été suivis chacun pendant 2 à 3 ans sur plus de 5 000 hectares, de **maïs ensilage**, cumulés pour la période et selon principalement 4 itinéraires techniques (IT) :

- 2 désherbages chimiques standards (1 prélevé puis 1 post levé) = désherbage tout chimique **(IT1)**,

- 1 désherbage chimique en prélevé puis binage en post levée = désherbage mixte1 (IT2),
- 2 passages de houe puis un rattrapage chimique = désherbage mixte 2 (IT3),
- 2 passages de houe puis1 binage = désherbage tout mécanique (IT4).

Les résultats sont les suivants par itinéraire technique sur la culture de maïs. (Réseau GAB-FRAB / AGROBIO35)

Itinéraire technique (IT)	Coût de l'IT en euros/hectare	IFT	efficacité
IT1 : tout chimique	104	1,43	Forte à très forte
IT2 : mixte	91	0,9	Forte à très forte
IT3 : mixte	107	0,63	Forte à très forte
IT4 : tout mécanique	96	0	Faible à très forte

Ces différents itinéraires techniques ont montré des résultats assez similaires. Chaque stratégie est à utiliser en fonction des conditions pédoclimatiques du moment (nécessité de périodes sèches pour le désherbage mécanique et humides pour les herbicides chimiques de prélevée).

Dans ce suivi, l'émission de gaz à effet de serre a également été analysé. La quantité de gaz à effet de serre produite par un désherbage tout mécanique augmente de 2,6 % par rapport à la quantité produite par un désherbage tout chimique si on la ramène à la conduite culturale d'un maïs ensilage pris dans sa globalité.

Cet aspect du désherbage mécanique (augmentation de l'émission des gaz à effet de serre) souvent évoqué par ses détracteurs ne semble donc pas systématique.

Le temps de travail d'une pratique mécanique a également été observé dans le cadre de plusieurs groupes 30 000 toujours sur le maïs ensilage. Il a fallu compter 15 minutes de plus par hectare soit sur les exploitations étudiées, avec 70 ha de maïs en moyenne, un total de 17H50 supplémentaires ce qui correspond à 2 jours de travail.

L'augmentation relative du temps de travail n'a pas été prépondérante dans l'analyse des résultats des tests pour les exploitants concernés. Ils ont priorisé la recherche d'un meilleur confort de travail et des relations améliorées avec le voisinage.

R2. Créer un portail des ventes et des références technico-économiques pour le matériel de précision :

- Créer un portail des ventes des outils de précision : robotique, guidage de précision (désherbage mécanique et chimique), Outils d'Aide à la Décision (OAD) avec une maille nationale et une déclinaison régionale. Au moins pour le matériel subventionné, il est nécessaire de mettre en place une traçabilité permettant de connaître le nombre de machines vendues par type de technologies de précision (FranceAgriMer et/ou constructeur et distributeur). Cette mission pourrait être confiée à la chaire AgroTIC.

- Mettre en place une base de données référençant les analyses technico-économiques comparatives d'utilisation notamment sur les sites de référence Ecophyto.

Pour autant, si l'accès à une information technico-économique reste primordial, la nécessité pour les agriculteurs de pouvoir échanger en groupe sur le terrain lors de démonstration ou d'expérimentations pluri annuelles est à prendre en compte.

« **Démontrer et montrer** » pourrait être non pas une recommandation mais le slogan gagnant de technologies qui doivent démontrer et être montrées pour être comprises, sur chaque entité pédoclimatique des territoires, ceci dans l'intérêt de promouvoir ces nouvelles technologies.

Il faut donc rendre tangible, perceptible pour les agriculteurs l'offre en agriculture de précision, ses avantages et inconvénients dans un contexte territorial.

Ce regard du terrain pourra d'ailleurs aider les constructeurs à progresser en termes de robustesse et de simplicité de la prise en main des matériels innovants.

R3. Montrer l'usage de ces nouveaux outils et démontrer leur pertinence technico-économique dans les territoires par la mise en place de sites expérimentaux et de réseaux locaux de fermes de référence.

- Pour cela, il convient d'organiser (notamment dans le cadre du plan Ecophyto 2030) des sites de référence et de démonstration pluriannuels qui intègrent l'usage des nouvelles technologies de précision dans le cadre d'une approche combinant tous les outils de l'agroécologie. Ces sites et réseaux auront pour objectif de montrer et de démontrer aux exploitants agricoles l'utilité de l'agriculture de précision et leur permettre ainsi d'échanger.

- L'intégration dans ce dispositif de groupes de progrès Ecophyto, réunissant un animateur pour 10 à 15 exploitations agricoles « groupes 30000 », est nécessaire.

2.3. Un dispositif de formation et de conseil prenant insuffisamment en compte cette révolution technologique

L'émergence rapide des technologies du numérique devrait être accompagnée par une adaptation des systèmes de formation et des conseils existants. Elle demande nécessairement une approche de spécialiste intégrant à la fois l'agronomie mais aussi un conseil expert en nouvelles technologies.

L'enseignement agricole et le déploiement de l'agriculture de précision/numérique

L'analyse des référentiels actuels et de ceux élaborés dans le cadre de la rénovation des BTS agricoles (mise en place entre septembre 2023 et 2025) montre le peu de place donnée à l'analyse stratégique de la révolution numérique (et donc l'agriculture de précision) attendue dans les prochaines années et de son impact potentiel sur les modèles de production.

Aussi bien les BTS ACSE (analyse, conduite, stratégies de l'entreprise agricole) que le BTS APV (Agronomie et productions végétales) dans leur version rénovée ne font pas clairement apparaître les nouveaux outils issus du développement du numérique et de la robotique mais aussi de la recherche en protection des plantes (produits de biocontrôle et des nouvelles techniques de génétique et de sélection) pour accompagner les transitions agro écologiques et climatiques.

La formation initiale des techniciens agricoles doit avant tout préparer ces futurs professionnels (à partir de connaissances agronomiques et économiques de base) à intégrer les différents

paramètres environnants une exploitation agricole et à proposer ou appliquer les stratégies d'entreprise qui intégreront plus que probablement ces nouvelles technologies associées à un retour à des pratiques plus agronomiques (transition agroécologique).

Pour autant des initiatives remarquables sont conduites dans certains lycées agricoles. Notamment les démarches les liant étroitement aux entreprises innovantes de l'agroéquipement permettent de conduire des expérimentations et des démonstrations de ces nouvelles pratiques sur l'exploitation de lycées engagés.

Le réseau agroécologique de la DGER « RESO'THEM » constitué par une dizaine d'enseignants impliqués dans l'accompagnement vers la transition agroécologique des lycées agricoles et de leurs exploitations est à valoriser au travers des actions déjà entamées et celles qui restent à démultiplier.

Ces acteurs de l'agroécologie, l'agronomie et du numérique/agroéquipement peuvent devenir des initiateurs de démarche à instituer dans chaque établissement afin de connaître ces différents outils issus de la révolution numérique et d'en apprécier l'intérêt et les limites.

Les lycées agricoles et leurs exploitations annexées pourraient mettre en place et animer en partie le réseau de démonstration territorial présenté dans la recommandation 3.

- La réforme du conseil agricole dans le secteur phytosanitaire est en cours de déploiement

La réforme du conseil phytosanitaire s'est notamment traduite par :

- la séparation de la vente et du conseil phytosanitaire,
- la mise en place d'un conseil stratégique phytosanitaire réalisé par des conseillers indépendants de la vente de produits phytosanitaires (sociétés différentes pour les 2 activités).

Cependant ce changement ne se traduit pas actuellement par une amélioration du conseil agricole :

- Les coopératives et les négoces ont très largement abandonné le conseil pour la vente sans pour autant être relayés par le conseil privé.
- Le conseil stratégique phytosanitaire peine à se mettre en place. Il exige un conseil dont le haut niveau n'est pas toujours respecté.

De nouvelles dispositions qui pourraient permettre à l'ensemble des organismes économiques de se réapproprié une partie du conseil sous réserve de la séparation en interne des activités de conseil et de vente sont attendues.

Ces organismes économiques sont les acteurs de proximité les plus proches des agriculteurs. De plus un conseil phytosanitaire nécessite une prise en compte globale de l'exploitation avec une réflexion à avoir d'une matière combinée sur la rotation, l'assolement, le choix des variétés plus ou moins résistantes, le potentiel apporté par l'agriculture de précision.

De même, la modulation/clarification de la séparation vente et conseil peut donner la possibilité aux coopératives/négoces de mettre en place un accompagnement phytosanitaire des agriculteurs dans le cadre de la mise en place des CEPP (certificat d'économie de produits phytopharmaceutiques), de la vente de produits de biocontrôle, de prestation de service (exemple le désherbage mécanique, l'usage d'outils d'aide à la décision) et de fournitures de semences concourant à la réduction de l'usage des phytosanitaires.

La nécessité d'introduire progressivement la réduction des phytosanitaires dans les engagements de responsabilité sociétale des entreprises (RSE) et leur déclaration de performance extra financière (DPEF) permettrait d'affirmer l'ancrage des organismes économiques dans la transition agroécologique

Enfin le déploiement d'un conseil privé (ou spécifique) permettra d'assurer :

- Des interventions de spécialistes auprès des agriculteurs dans l'objectif d'un diagnostic santé de plantes proposant un panel de solutions,
- Un diagnostic sur la pertinence technico économique à déployer des agroéquipements ou OAD de précision sur l'exploitation pourra utilement compléter le dispositif,
- Un accompagnement technique annuel à l'utilisation de ces techniques complexes de précision.

2.4. Un coût élevé de ces nouvelles technologies pouvant être rédhibitoire

Même s'il est parfois difficile d'accéder à une information précise sur la réalité des coûts, les avis de nos interlocuteurs divergent sur la contrainte économique d'un investissement dans les techniques de précision en protection des cultures.

Pour beaucoup même si la démonstration sur le terrain est l'acte initiateur de la prise de décision, le prix d'achat encore trop important de ces nouvelles technologies mérite d'être ramené à des niveaux plus abordables, d'où la nécessité de subventionner ces outils à vocation aussi bien environnementale que productive. Cela devrait permettre d'accélérer la mise en place de ces nouvelles techniques réduisant de fait leur coût de fonctionnement. Une subvention de l'ordre de 40 % semble importante (recommandation 1) mais pour autant non suffisante.

En effet, certains matériels achetés et subventionnés sont parfois sous utilisés. Beaucoup d'acteurs ont insisté sur la nécessité non seulement d'aider à l'investissement mais aussi d'accompagner par un conseil technico-économique l'agriculteur venant d'investir dans ce matériel de précision.

Les financements publics qui accompagnent l'investissement dans ces matériels de précision sont portés à la fois au niveau national dans le cadre notamment des guichets ouverts par France 2030, les conseils régionaux mais aussi selon les régions par les agences de l'eau.

Des cahiers des charges complémentaires seraient souhaitables entre les différentes sources de financement public.

L'agriculture de précision est-elle plus chère que l'agriculture conventionnelle ?

La comparaison entre le prix d'un désherbage chimique sur la totalité de la surface, avec un désherbage chimique de précision et un désherbage mécanique de précision est à ce titre intéressante à analyser.

Exemple de coût des opérations culturales (centrées sur le désherbage des grandes cultures) avec différents modes de gestion des adventices) *

	Prix en euros HT gamme moyenne	Surface moyenne travaillée annuellement en hectares	Performance moyenne/nombre d'hectares /heure	Coût du chantier Euros / hectare	Coût total /hectare Charges +main d'œuvre (hors produits phytosanitaires Euros / par hectare)
Pulvérisateur					
Trainé 24 m /2500L	53 000	800	10	9,4	11,1
Ultra précis 6 m -actuellement -si déploiement	110 000 A estimer ?	1 000 1 000	4 4		120 (en prestation) 50 (en prestation ?)
Désherbage mécanique					
Bineuse 12 rangs avec autoguidage 12 rangs et doigts Kress	43 600	150	4,5	36,7	40,5
Roto étrille (ou herse étrille) haut de gamme 12 m	35 600	250	7	16,3	18,7

*sources : matériels agricoles-coût des opérations culturales 2022 (chambres d'agriculture France) / les systèmes de guidage utilisés en binage-2021 (chambres d'agriculture 17 et 79) / pulvérisateur Ara-Ecorobotix.

Le coût des stratégies de désherbage aboutit à des résultats assez comparables (en prenant en compte l'outil, l'éventuel produit phytopharmaceutique et la main d'œuvre).

Par exemple, le coût d'un désherbage chimique du maïs varie de 100 à 150 euros par hectare pour 2 passages de produits phytosanitaires souvent en mélange (référence Arvalis 2022).

Un désherbage tout mécanique (2 passages en post semis - prélevée précoce avec une herse ou une roto étrille avec réglages de précision puis un binage de précision avec doigts Kress permettant de désherber sous le rang) nous amène à une estimation de (18,7 x 2 + 40,3) de **77,7 à 118 euros (si on doit faire un quatrième passage mécanique)** avec cependant une stratégie qui n'est applicable (hors agriculture biologique) qu'en fonction de conditions pédoclimatiques favorables (bonne préparation du sol et temps sec).

Un désherbage mixte avec un herbicide puis un binage de précision, a un coût équivalent à un désherbage chimique ou mécanique.

Un seul passage d'un pulvérisateur de haute précision (type ARA d'ecorobotix) reviendrait aujourd'hui à 150 euros par hectare (mais il faut prendre aussi en compte une moindre

phytotoxicité sur la culture). Il est donc actuellement utilisé pour des cultures à plus haute valeur ajoutée. Cependant la démultiplication des outils et la réduction du prix unitaire attendu permettraient rapidement d'être compétitif avec un coût du passage pouvant alors être comparable aux deux autres techniques (chimique en plein ou désherbage mécanique).

Les calculs précédents sont bien sûr indicatifs. Ils correspondent à des situations moyennes. Chaque exploitation exige un diagnostic particulier en fonction de son système d'exploitation et de sa disponibilité en main d'œuvre selon les saisons culturales.

Les éléments chiffrés présentés ci-dessus permettent de montrer que les techniques mécaniques ou chimiques de précision n'entraînent pas d'augmentation significative du coût de la protection des cultures tout en réduisant fortement l'usage des produits phytosanitaires.

Un effort conséquent est à mettre en place pour massifier l'utilisation des outils de précision utilisés soit directement par l'agriculteur ou par l'intermédiaire d'une CUMA ou d'une ETA.

- Dans le cas d'une utilisation directe par l'agriculteur, il faut renforcer les appels à projets permettant de subventionner jusqu'à 40 % du prix d'achat des outils considérés comme matures ;
- Un besoin d'accompagnement technique suite à l'investissement par l'agriculteur est à prévoir tout comme un accès facilité à des prestations de service ;
- Les financements nationaux et régionaux restent à mieux coordonner.

S'il revient à l'Etat de continuer à accompagner la recherche et le déploiement en agroéquipement de précision (recommandation 1) dans le cadre d'une politique de santé publique, il est nécessaire de les coordonner avec les aides de la région, de l'agence de l'eau, et potentiellement des collectivités locales.

La plupart des acteurs de terrain ont également souligné l'importance de pouvoir associer l'aide à l'investissement avec un accompagnement technique à l'utilisation pendant 2 ans.

En complément du conseil stratégique phytosanitaire, les chambres d'agriculture, les lycées agricoles, les coopératives/ négoce agricoles, les constructeurs/distributeurs de machinisme agricole et le conseil privé pourront développer une offre de services apportant un conseil stratégique agronomique d'entreprise dans le cadre d'un projet d'investissement dans un matériel de précision et dans son suivi les deux premières années d'utilisation.

Une aide financière pour faciliter la formation et l'accompagnement technique permettrait d'optimiser l'accès à ces technologies de précision.

R4. Accélérer la mise à disposition réussie de ces outils de précision :

- En améliorant la complémentarité entre les différentes sources de financement nécessaires notamment entre l'Etat et les régions,
- En instaurant un chèque conseil associé à l'investissement réalisé en agriculture de précision à vocation agroécologique permettant ainsi de conforter l'accompagnement par la formation continue et l'appui technique.

2.5. Le risque lié à l'utilisation de ces nouvelles technologies n'est supporté que par l'exploitant

La perception de complexité, de risques agronomiques et économiques plus importants et de « perte de sens » pour certains, liée au déploiement de la robotique a été parfois évoquée. A l'inverse, d'autres ont parfois l'impression de revenir 50 ans en arrière avec les outils mécaniques de désherbage. L'impression de ne plus pouvoir maîtriser ce qui constitue « leur métier » est un paramètre à prendre en compte. Ce besoin d'être en perpétuel relation avec des « experts », des conseillers de plus en plus spécialisés dilue le sens du métier d'agriculteur. Le besoin d'assurance et de réassurance pour la mise en place de ces nouvelles pratiques notamment dans le cadre d'une gestion du temps de travail et d'une rotation à repenser nécessite d'être pris en compte.

Une étude sociologique conduite à l'initiative d'une grande coopérative française a ainsi permis d'approcher les freins à lever pour pouvoir conduire un maximum d'agriculteurs vers des pratiques agroécologiques pouvant aboutir à une segmentation mieux valorisée de la production. On peut retenir en particulier :

- Eviter de communiquer au démarrage de l'action afin de ne pas stigmatiser ceux qui avancent plus lentement,
- S'assurer que l'encadrement technico-économique soit moteur dans la démarche, identifier et valoriser les experts référents (agriculteurs et techniciens),
- Assurer un accompagnement avant et après l'utilisation des techniques alternatives, organiser des ateliers d'échanges.

S'engager dans la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques en utilisant des méthodes alternatives de précision semble pour beaucoup présenter un risque en termes à la fois de mauvaise maîtrise technico-économique et de conséquences sur la gestion du temps de travail. Il est donc nécessaire de revenir à une réflexion agronomique pour optimiser la mise en place de ces nouvelles techniques.

La question posée est de savoir si l'agriculteur doit être le seul à prendre ces risques dans le cadre d'une transition agroécologique nécessaire à l'ensemble de la société notamment pour des enjeux de santé publique.

Des solutions sont alors envisageables dans une approche collective de réduction de l'usage des phytosanitaires afin de ne pas faire peser sur l'agriculteur une perte d'efficacité dans ses résultats économiques.

- **Des systèmes assuranciers complémentaires**

Face au coût croissant des dommages provoqués ces dernières années par des aléas climatiques de plus en plus intenses et fréquents, et à un système d'indemnisation des pertes de récolte devenu inadapté, la loi du 2 mars 2022 a institué de nouvelles modalités d'indemnisation des pertes de récoltes résultant d'aléas climatiques. Ce dispositif repose sur le partage équitable du risque entre l'État, les agriculteurs et les entreprises d'assurances.

L'assurance multirisque climatique des récoltes est l'un des principaux outils pour sécuriser financièrement une exploitation agricole en cas de sinistre climatique. C'est pourquoi les pouvoirs publics soutiennent son développement en prenant en charge une partie de la prime ou cotisation d'assurance. Cette avancée législative et réglementaire dans le cadre de la prise en compte d'un risque climatique (inondation, sécheresse, gel), qui va sans doute devenir de plus en plus fréquent, est une réelle avancée permettant d'améliorer la stabilité du fonctionnement de la ferme France.

La tentation est alors très forte d'étendre ce système aux risques sanitaires limitant les rendements des productions végétales et plus particulièrement aux risques générés par la réduction de l'usage des phytosanitaires remplacés par des techniques alternatives dépendants de la technicité de l'exploitant et des conditions pédoclimatiques d'utilisation. Il semble complexe de caractériser un phénomène (développement du mildiou de la vigne par exemple) survenant essentiellement dans le cadre d'un épisode climatique particulier mais dépendant aussi de la technicité du viticulteur dans l'appréciation du risque à partir de la bonne utilisation des modèles épidémiologiques prédictifs à la parcelle.

Pour ces raisons, il semble actuellement difficile de caractériser un risque sanitaire tellement les situations à gérer seront variées et complexes à analyser.

Pour autant, la question est posée et on ne peut que saluer la mise en place de projets de recherche sur cette thématique.

Citons en particulier le projet ARRUPVICO (Assurabilité des Risques liés à la Réduction des Usages en Vigne et Colza) piloté par l'INRAE, l'université de Bordeaux et les instituts techniques qui a pour objectif de préciser le cadre de référence pour aider les décideurs et les acteurs à situer les différents dispositifs assurantiels favorisant la réduction de l'usage des produits phytosanitaires.

Cet objectif intègre une première analyse du cadre réglementaire pour identifier les évolutions nécessaires et décrire les dispositifs de couverture du risque envisageables. Dans un second temps, des prototypes assurantiels opérationnels et acceptés par les parties prenantes, seront développés en vigne et en colza. Ces assurances se voudront incitatives pour encourager l'adoption de pratiques économes en intrants tout en mettant en place une indemnisation en cas de pertes de récolte.

Le déploiement d'une agriculture de la fonctionnalité

Et si demain une partie de l'agriculture française basculait vers une agriculture de la fonctionnalité et de la coopération préservant à la fois la durabilité économique et agro écologique .

L'objectif est de passer de la vente d'un bien à celle d'un service dans le cadre d'une solution intégrée garantissant un résultat économique.

L'économie de la fonctionnalité peut se définir comme un système privilégiant l'usage plutôt que la vente d'un produit. Elle vise à développer des solutions intégrées de biens et services dans une

perspective de développement durable. Ainsi, l'échange économique ne repose plus sur le transfert de propriété de biens, qui restent la propriété du producteur tout au long de son cycle de vie, mais sur le consentement des usagers à payer une valeur d'usage.

La manufacture française des pneumatiques Michelin (grand prix entreprises et environnement 2016), a développé une offre durable de mobilité dans sa composante pneumatique poids-lourds dont l'objectif est de commercialiser non pas des pneumatiques mais des kilomètres parcourus. Les pneumatiques mis à disposition par Michelin sont éco-conçus dans l'objectif de maintenir leur performance dans la durée. En outre, les offres de services de la marque permettent une gestion intégrale du poste pneumatique bus ou camion et garantissent aux clients des économies de carburant liées notamment à la bonne gestion de l'équipement pneumatique et à l'accompagnement à l'éco-conduite. Source Ademe (2022) et Ministère de la transition agroécologique (2019).

Les attentes prioritaires vis-à-vis de l'économie de la fonctionnalité en agriculture seraient :

- La garantie de conformité par rapport aux normes et règlement,
- L'engagement de revenus ou de rentabilité de l'exploitation,
- La délégation vers le prestataire avec des niveaux variés : remplacer et libérer du temps pour l'exploitant agricole (notamment lors des pics d'activité), prendre en charge des décisions plus stratégiques et assurer leur mise en œuvre opérationnelle,
- L'accélération de l'innovation au travers de nouvelles méthodes (culturelles, numériques, etc.), ainsi que la prise en charge de leur déploiement, leur financement et les risques associés.

Cette nouvelle approche économique nécessite à la fois des modèles prédictifs de l'évolution des parasites et maladies, de matériels de précision pour identifier les zones à traiter mais aussi d'incitations publiques sur l'équipement en matériels de précision. L'objectif est bien de maintenir un revenu pour l'exploitant tout en optimisant et réduisant l'usage des produits phytopharmaceutiques (par exemple ne désherber que là où c'est nécessaire) dans le cadre d'une approche combinatoire. Elle est portée par l'industrie des produits phytosanitaires (en particulier BASF) qui voit en cela une évolution de leur métier passant progressivement d'une offre commerciale basée actuellement sur la vente des produits phytopharmaceutiques à celle reposant sur la vente d'un service. L'agriculteur n'achète plus les produits de traitement mais un résultat (une parcelle en bon état sanitaire) avec l'appui d'un service technique.

Cette démarche expérimentale a concerné, en 2023, 12 000 hectares et plusieurs grandes coopératives françaises. L'objectif contractualisé est bien d'avoir une « bonne qualité sanitaire de la culture » tout en objectivant et, le plus souvent, réduisant l'usage des produits phytopharmaceutiques (20% aujourd'hui et beaucoup plus attendu dans le cadre du déploiement de la pulvérisation de haute précision)

La combinaison, entre approche agronomique, utilisation des OAD et des techniques de désherbage mécanique ou de pulvérisation de précision, devrait permettre le déploiement de cette offre de service pour 10 à 20 % des exploitations françaises selon l'estimation des promoteurs.

Le déploiement de subventions publiques ou privées dans le cadre des MAEC, PSE.

Ce sont des outils, pour partie, qui permettent de protéger les masses d'eau et la biodiversité dans sa globalité. L'octroi d'une subvention, prenant en compte le surcoût ou le risque inhérent à la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques, est à simplifier et à consolider. Ces outils constituent des leviers importants mais touchent des territoires trop limités.

On peut citer en particulier l'exemple d'Eau de Paris qui, en lien avec l'agence de l'eau Seine Normandie, a lancé en 2020 un dispositif basé sur le principe du paiement pour services environnementaux afin de réduire ou supprimer l'usage des produits phytopharmaceutiques dans les parcelles à proximité des points de captage.

R5. Proposer une prise en charge partielle du risque induit par la plus grande complexité apparente de l'agriculture de précision :

Pour cela, plusieurs pistes restent à travailler, à consolider et donc à soutenir,

- Des systèmes assuranciers complémentaires,
- Déployer une agriculture de la fonctionnalité,
- Intégrer cette prise de risque dans le cadre d'aides publiques ou privées de type MAEC ou PSE.

2.6. Une approche territoriale multi partenaires dans le cadre de la transition agroécologique

-La place attendue de l'amont et l'aval de l'exploitation agricole dans le cadre du développement des bonnes pratiques agroécologiques y compris l'agriculture de précision.

On peut identifier un contexte favorable :

- Des évolutions réglementaires sont en cours :

On peut citer en particulier la réévaluation des substances préoccupantes au niveau européen qui va conduire à une forte réduction des solutions chimiques. L'obligation pour les distributeurs d'établir un projet stratégique afin de réaliser les objectifs d'obtention de certificats d'économie de produits phytosanitaires (CEPP) devrait matérialiser le basculement vers l'utilisation de méthodes de lutte alternative (biocontrôle, moyens mécaniques...). La loi Egalim encadrant l'origine des produits (signes de qualité, certification environnementale...) utilisables en restauration collective peut aussi accompagner l'évolution des pratiques.

- Des grandes coopératives sont présentes dans l'accompagnement des agriculteurs à la production mais aussi transforment et commercialisent les productions de leurs territoires.
- La demande sociétale de moins d'utilisation de pesticides de plus en plus comprise par ces structures économiques.

Aussi certaines de ces structures économiques se sont engagées notamment dans le cadre de leur démarche de mise en place de la politique de responsabilité sociétale de l'entreprise (RSE) à :

- Démultiplier les surfaces cultivées par des solutions de biocontrôle et des techniques alternatives aux produits phytosanitaires,
- Basculer progressivement de la certification environnementale CE2 au HVE.

-La participation active des collectivités locales peut permettre de faciliter une transition agroécologique réussie pour, en premier, lieu les agriculteurs.

La démarche locale pourrait être rapidement initiée autour d'expérimentations de territoire avec des collectivités (EPCI ou regroupement d'EPCI) intéressées par la mise en place d'une démarche associant les politiques de l'alimentation (projet alimentaire territorial intégrant la gestion de l'eau potable) et celles des transitions agroécologiques avec un focus Ecophyto.

-La mise en cohérence de la recherche et du développement agronomique avec la réalité d'un pilotage territorial est aussi un facteur favorable.

Pour cela, le pilotage régional (Préfet de région et DRAAF) et départemental (Préfet de département et DDI) doivent pouvoir orienter les études à mettre en place dans le cadre des réseaux d'expérimentation et de démonstration dans un contexte pédoclimatique local.

L'apport scientifique d'un réseau RIT (cellule Recherche, Innovation, Transfert) déployé spécifiquement sur l'agriculture de précision permettrait efficacement d'appuyer les démarches territoriales.

R6. Décliner dans les territoires ces nouvelles techniques issues de l'agriculture de précision dans le cadre d'un pilotage régional et départemental :

- en y associant les collectivités régionales et locales mais aussi les organismes économiques de l'amont à l'aval concourant à la mise en place des transitions alimentaires et agroécologiques,
- avec l'appui de cellules RIT (Recherches-Innovation-Transfert) qui seraient spécialement orientées vers le déploiement des techniques de l'agriculture de précision dans le cadre d'une transition agroécologique. Le pilotage régional doit pouvoir orienter techniquement les réseaux d'expérimentation et de démonstration déployés localement et ainsi développer une politique locale de démultiplication des bonnes pratiques.

2.7. Des freins réglementaires en partie levés

Si la possibilité pour les robots de travailler sans supervision humaine de proximité est résolue, ils ne peuvent toujours pas circuler librement sur les routes. Pour les exploitants dont les parcelles sont morcelées, cette impossibilité est un réel handicap (cas des vignobles en champagne). Il semble nécessaire de définir rapidement les conditions de circulation des véhicules autonomes dans le code de la route pour permettre à minima l'utilisation des chemins vicinaux.

Le déploiement de la pulvérisation ultra ciblée, permettant rappelons-le d'économiser jusqu'à 90% de produits phytosanitaires, devrait entraîner une réévaluation des doses préconisées par les fabricants voire de n'autoriser l'usage de certaines molécules que sous ce mode de pulvérisation. L'objectif est de traiter avec une dose efficace une partie de la parcelle.

Pour cela, l'analyse faite conduit à plusieurs hypothèses à partir du constat suivant :

-L'AMM (autorisation de mise sur le marché) à dose réduite à l'hectare est possible mais à ce jour elle n'est pas utilisée par les metteurs en marché.

-La réduction de la dose hectare peut être décidée par l'ANSES (cas par exemple du glyphosate sur vigne). Pour autant la généralisation de cette approche demanderait un cadre réglementaire pour que l'ANSES aille au-delà d'une approche purement "risques", au titre de laquelle tout usage sûr est autorisé, avec ou sans réduction de dose tout en prenant en compte l'efficacité et la sélectivité.

Les solutions possibles pour pouvoir autoriser des doses hectares réduites permises grâce à la pulvérisation de précision restent donc l'évolution du cadre de l'AMM ou la voie réglementaire.

Pour avancer rapidement, une évolution attendue des conditions d'octroi de l'AMM devrait passer par :

- une demande du metteur en marché pour conserver l'AMM (si seule une dose réduite passe l'évaluation) ou une demande de la firme au titre d'une stratégie de plus long terme pour éviter les pollutions et éviter de menacer la substance à moyen terme.
- une politique de délivrance des AMM qui serait encadrée par les ministères.

R7. Faire évoluer la réglementation en :

- En définissant les conditions de circulation des véhicules autonomes dans le code de la route pour permettre à minima l'utilisation des chemins vicinaux.
- En facilitant les transitions vers une réduction des doses hectares permise par la pulvérisation de précision en adaptant les AMM des substances ou des spécialités commerciales à ces nouvelles technologies.

CONCLUSION

Les apports de l'agriculture de précision devraient permettre de réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques à condition toutefois de les inclure dans une réflexion stratégique sur la reconception du système d'exploitation intégrant les évolutions climatiques prévisibles. Ces techniques doivent cependant être combinées notamment avec les progrès attendus issus de la génétique et du déploiement de produits de biocontrôle.

La prise en compte des contraintes et leviers agronomiques est aussi un préalable à leur mise en place.

Pour accélérer la transition agroécologique versus réduction des produits phytopharmaceutiques intégrant ces nouveaux outils, il convient :

- D'organiser l'accès à une information technico-économique fiable en créant un observatoire des ventes et de références technico-économiques pour le matériel de précision,
- De montrer l'usage de ces nouveaux outils et démontrer leur pertinence technico-économique dans les territoires par la mise en place de sites expérimentaux et de réseaux locaux de fermes de références,
- De soutenir l'industrialisation des techniques innovantes notamment dans le cadre de filières orphelines,
- De financer à 40% les technologies considérées comme matures,
- D'aménager les réglementations vis-à-vis de cette technologie nouvelle,
- De former et accompagner les agriculteurs,
- D'avancer sur une prise en compte partagée du risque induit par ces technologies dans le cadre d'une réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques,
- Et enfin de piloter le dispositif au plus près des territoires.

Les technologies développées dans l'agriculture de précision ont vu une accélération forte depuis l'avènement du numérique.

Il faut progressivement en faciliter l'utilisation afin de permettre à chacun d'utiliser de la manière la plus pertinente possible ces outils issus de la dernière révolution technologique.

Signatures des auteurs

Pascale CAZIN

Inspectrice générale

Hervé SIMON

Inspecteur général

ANNEXES

ANNEXE 1 : LETTRE DE MISSION



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Cabinet du ministre



Paris, le 15 MARS 2023

La Directrice de Cabinet du Ministre
de l'Agriculture et de la Souveraineté
alimentaire

à

Monsieur le Vice-Président du Conseil
Général de l'Alimentation, de l'Agriculture
et des Espaces Ruraux (CGAAER)

N/Réf : CI 844783

V/Réf :

Objet: Réduction de l'emploi des produits phytopharmaceutiques par le développement de l'agriculture de précision.

PJ :

La réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques et des risques qui y sont liés constitue une attente citoyenne forte et une nécessité pour préserver à la fois la santé et la biodiversité. Elle fait l'objet d'une politique prioritaire du Gouvernement.

Une des pistes prometteuses, pour accompagner cette réduction et trouver des alternatives, est la généralisation de l'agriculture de précision.

Le projet de règlement sur l'utilisation durable des produits phytopharmaceutiques (« SUR ») fixe 4 objectifs. L'un d'eux est de « promouvoir l'adoption de nouvelles technologies, telles que l'agriculture de précision qui utilise des données et des services spatiaux (y compris des techniques de localisation géospatiale), dans le but de réduire l'utilisation globale et le risque des pesticides » (version du 22 juin 2022).

Cependant plusieurs difficultés sont souvent signalées pour expliquer son encore trop faible déploiement :

- les coûts liés au matériel. Pour pallier cela, des dispositifs permettant de faciliter l'achat de ce type de matériel ont été mis en place, d'une part, dans le cadre du plan de relance (205 millions d'euros (M€) en 2020 de prime à la conversion des agroéquipements) et, d'autre part, dans le cadre du plan France 2030 (20 M€ pour le premier guichet « équipements pour la troisième révolution agricole ») ;

- l'acquisition de compétences complémentaires nécessaires aux opérateurs (agriculteurs, Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole ou Entreprise de Travaux Agricoles) ;

- l'utilisation de ces nouvelles technologies nécessite souvent de passer par une phase d'expérimentation territorialisée et plus sûrement par des démonstrations de terrain.

-/-

78, rue de Varenne
75349 PARIS 07 SP
Tél : 01 49 55 49 55

Ces nouvelles techniques nécessitent en parallèle une approche agronomique renforcée incluant une réflexion sur les pratiques culturales dans le cadre de la rotation et pouvant faire appel à plus de conseil.

Je souhaite confier au CGAAER la réalisation d'une mission dont les objectifs seront les suivants :

- faire un état des lieux des connaissances quant à l'intérêt de l'agriculture de précision pour la réduction de l'emploi des produits phytopharmaceutiques et des risques associés ;

- formuler des recommandations sur le développement et le déploiement de l'agriculture de précision avec l'objectif de réduction de l'emploi des produits phytopharmaceutiques mais aussi celui de répondre aux difficultés de certaines filières risquant des impasses agronomiques en raison du retrait de substances. Vous évaluerez dans ce cadre l'efficacité des dispositifs d'aide à l'achat d'agroéquipement de précision mis en œuvre. Vous pourrez si nécessaire faire des préconisations sur le type d'équipements ou les modalités permettant leur déploiement pour les prochaines relèves du guichet « équipements pour la troisième révolution agricole » ;

- identifier les actions mises en œuvre, facteurs de succès à soutenir sur le terrain pour favoriser le recours à l'agriculture de précision.

Afin de conforter le déploiement de ces nouvelles techniques et la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques, la mission analysera les conditions à réunir sur les territoires et proposera des pistes d'amélioration.

Un point plus particulier sera fait sur la réduction de l'usage des herbicides par la mobilisation de techniques innovantes associées à une approche agronomique.

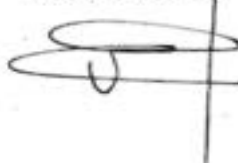
En effet, les herbicides correspondent à 44 % des ventes de produits phytopharmaceutiques en 2020, avec une utilisation encore plus importante dans les régions de grandes cultures. Ils ont été récemment visés pour des dépassements des normes de qualité dans l'eau destinée à la consommation humaine.

À ce jour, les technologies disponibles et les références techniques accumulées ne se sont pas encore traduites par une modification en profondeur des pratiques de désherbage.

Vous proposerez des axes de réflexion et d'actions afin d'identifier les leviers permettant aux techniques issues de l'agriculture de précision de généraliser la pratique du désherbage mécanique et des autres moyens physiques ou de réduire significativement les quantités de produits utilisés.

Je souhaite pouvoir disposer du rapport 4 mois après la réception du présent courrier.

Valérie HATSCH



ANNEXE 2 : NOTE DE CADRAGE



Réduction de l'emploi des produits phytopharmaceutiques par le développement de l'agriculture de précision

Mission n° 23048

Note de cadrage

établie par

Pascale CAZIN

Inspecteur général de santé publique vétérinaire

Hervé SIMON

Ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts

Mai 2023



SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET MOTIVATION	4
2. RAPPEL DE LA COMMANDE	4
3. REFORMULATION DE LA PROBLEMATIQUE (CONTEXTUALISATION DE LA MISSION)	6
4. OBJET ET PERIMETRE DE LA MISSION, EXCLUSIONS NOTOIRES	8
5. DOCUMENTATION DISPONIBLE	8
6. DEMARCHE ET PHASAGE, JALONS	8
6.1. Phases de travail : État des lieux	8
6.2. Méthodologie	9
7. PARTIES PRENANTES A RENCONTRER	9
8. SUIVI ET LIVRABLES	10
9. CALENDRIER D'EXECUTION	10
Annexe 1 : Lettre de mission	11

1.CONTEXTE ET MOTIVATION

Le Ministre de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire a confié au Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER), par un courrier du 15 mars 2023, une mission de conseil sur la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques par le développement de l'agriculture de précision.

L'utilisation importante de produits phytopharmaceutiques depuis le début des années 1970 s'est d'abord traduite par une augmentation des rendements et un sentiment de réduction du risque lié aux attaques parasitaires des végétaux. Pour autant, l'accumulation de ces produits de synthèse dans différents compartiments environnementaux impactant le bon état de l'eau ou la biodiversité a conduit les pouvoirs publics à mettre en place une politique publique de réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques de synthèse. Le gouvernement s'est engagé à répondre à cette attente sociétale à travers le plan Écophyto II+. Ce plan vise à réduire de 50% l'utilisation de ces produits d'ici 2025 et à progressivement abandonner l'utilisation du glyphosate. De plus, les plans Écophyto successifs répondent à une obligation imposée par l'Union Européenne dans la directive 2009/128/CE, qui vise à utiliser les pesticides de manière compatible avec le développement durable.

Par ailleurs, le projet de règlement sur l'utilisation durable des produits phytopharmaceutiques (« SUR ») fixe 4 objectifs. L'un d'eux est justement de « *promouvoir l'adoption de nouvelles technologies, telles que l'agriculture de précision qui utilise des données et des services spatiaux dans le but de réduire l'utilisation globale et le risque des pesticides* » (version du 22 juin 2022).

Cette mission s'inscrit également en continuité de la mission CGAAER N°23055 du 4 avril 2023 et intitulé : demande d'appui du CGAAER au plan d'action stratégique pour l'anticipation du retrait des substances actives et le développement de techniques alternatives de protection des cultures.

Elle a pour objectif de préciser les conditions d'utilisation de l'agriculture de précision dans la perspective de réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques et ainsi définir les modalités de contribution de ces techniques au développement de techniques alternatives de protection des cultures.

2.RAPPEL DE LA COMMANDE

Pour réduire l'utilisation de produits phytopharmaceutiques tout en préservant la souveraineté alimentaire de notre pays et la viabilité économique des exploitations agricoles, la massification de l'agriculture de précision constitue une piste prometteuse.

Cependant plusieurs difficultés sont souvent signalées pour expliquer son faible déploiement :

- Les coûts liés au matériel constituent un frein.
- L'acquisition de compétences complémentaires nécessaires aux opérateurs (agriculteurs, CUMA ou ETA) est primordiale.
- L'utilisation de ces nouvelles technologies nécessite souvent de passer par une phase d'expérimentation territorialisée et plus sûrement par des démonstrations de terrain.

Ces nouvelles techniques demandent une approche agronomique renforcée incluant une réflexion sur les pratiques culturales dans le cadre de la rotation.

Les objectifs de la mission sont les suivants :

- Faire un état des lieux des connaissances quant à l'intérêt de l'agriculture de précision pour la réduction de l'emploi des produits phytosanitaires.
- Dresser un panorama des techniques déjà utilisées en France et des perspectives de déploiement à court et moyen terme.
- Evaluer dans ce cadre l'efficacité des dispositifs (nationaux et régionaux) d'aide à l'achat d'agroéquipement de précision mis en œuvre et faire, si nécessaire des préconisations sur le type d'équipements et les modalités à mettre en place dans le cadre notamment du guichet « équipements pour la troisième révolution agricole ».
- Formuler des recommandations sur le développement et le déploiement de l'agriculture de précision avec l'objectif de réduire l'emploi des produits phytopharmaceutiques mais aussi celui de répondre aux difficultés de certaines filières risquant des impasses agronomiques suite au retrait de substances.
- Identifier les actions mises en œuvre, les facteurs de succès à soutenir sur le terrain pour favoriser le recours à l'agriculture de précision.

Ce dernier objectif se déclinera également en lien avec :

- Les politiques publiques portées par les collectivités territoriales (EPCI et conseil régional notamment) copilotes des politiques de l'eau et des transitions agroécologiques et alimentaires sur leur territoire.
- L'action territorialisée des organismes économiques de l'amont et l'aval des exploitations agricoles dans le cadre notamment de leur démarche RSE.

Un focus plus particulier sera fait sur la réduction de l'usage des herbicides par la mobilisation de techniques innovantes associées à une approche agronomique.

En effet, les herbicides correspondent à 44 % des ventes de produits phytosanitaires en 2020 avec une utilisation encore plus importante dans les départements de la moitié nord de la France. Ils ont été récemment cités pour des dépassements des normes de qualité dans l'eau destinée à la consommation humaine.

A ce jour les technologies disponibles et les références techniques accumulées ne se sont pas traduites par une modification en profondeur des pratiques de désherbage.

Des axes de réflexion et des recommandations seront formulés afin d'identifier les leviers permettant aux techniques issues de l'agriculture de précision de généraliser la pratique du désherbage mécanique et des autres méthodes physiques.

3. REFORMULATION DE LA PROBLEMATIQUE (CONTEXTUALISATION DE LA MISSION)

La France a été le premier pays européen à se fixer des objectifs ambitieux de réduction de l'usage des produits phytosanitaires de synthèse avec le plan Ecophyto lancé en 2008.

Protéger la souveraineté alimentaire de notre pays et conforter la viabilité économique des exploitations nécessitent cependant du temps pour voir les moyens de protection des cultures à base de produits phytosanitaires de synthèse être substitués par des produits de biocontrôle, des moyens mécaniques et numériques dans le cadre d'une réflexion agronomique dans l'espace et le temps.

Les ventes de substances actives (hors produits de biocontrôle) pour l'année 2021, issues des déclarations réalisées début 2022, sont désormais disponibles. Elles font notamment apparaître des ventes en forte réduction par rapport à la moyenne 2012-2017 (moins 19%)

Cependant, les objectifs de la politique initiée en 2008 tardent à se concrétiser.

La réduction de l'usage de ces produits doit se voir comme une des pratiques devant conduire à des systèmes agro écologiques cohérents (selon chaque territoire et exploitation) combinant performance économique, sociale, environnementale et sanitaire..

Ces différentes stratégies (réduction des phytosanitaires dans le cadre d'une amélioration des pratiques ou transition vers de nouveaux systèmes de production) ne sont pas à opposer. Elles s'assemblent en fonction du contexte de chaque exploitation et de chaque région agronomique.

Les évolutions réglementaires récentes vont progressivement modifier les pratiques professionnelles. On peut citer en particulier la réévaluation en cours des substances préoccupantes au niveau européen et la séparation de la vente et du conseil pour les produits phytosanitaires. L'obligation pour les distributeurs d'établir un projet stratégique afin de réaliser les objectifs d'obtention de certificats d'économie de produits phytosanitaires (CEPP) devrait matérialiser le basculement vers l'utilisation de méthodes de lutte alternative (biocontrôle, moyens mécaniques...). La loi Egalim, encadrant l'origine des produits (signes de qualité, certification environnementale...) utilisables en restauration collective, va aussi accompagner cette transition agroécologique .

La demande sociétale de plus en plus forte pour une agriculture durable et de proximité est comprise, et de plus en plus prise en compte, par de nombreux acteurs des territoires que sont les collectivités locales et les organismes associatifs et économiques insérées dans leur environnement.

L'agriculture de précision : un moyen pour aller vers une agriculture moins dépendante des produits phytopharmaceutiques ?

La définition de l'agriculture de précision selon « le vocabulaire de l'agriculture et de la pêche » JORF N° 0121 du 27 mai 2021 (texte 164) est la suivante¹ :

« Ensemble des pratiques agricoles qui, grâce aux techniques agricoles de pointe, prennent en compte les caractéristiques de chaque parcelle et ajustent ainsi dans l'espace et dans le

¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043536482>

temps les interventions des machines et les applications d'intrants.

Voir aussi : agriculture de pointe, élevage de précision, technique agricole de pointe. »

Le concept « agriculture de précision est apparu à la fin du siècle dernier (1980-2000). Il avait pour objectif « d'apporter la bonne dose, au bon endroit » Il reposait sur le constat que, toute parcelle agricole étant un milieu vivant et hétérogène, il convenait d'avoir une approche agronomique de la variabilité intra parcellaire avec pour conséquence une modulation des intrants.

L'agriculture numérique, apparue plus récemment, a permis d'ouvrir de nombreuses perspectives permettant de tendre vers une agriculture de plus en plus précise. On peut citer en particulier

- Les nouvelles techniques de l'information et de la communication ont considérablement accéléré la circulation et le stockage des données issues de satellites, capteurs, objets connectés ou smartphone.
- Les capacités de calcul rendent possible la mise en œuvre de nouveaux modes de modélisation
- Et plus généralement, le déploiement renouvelé des techniques d'aide à la conduite d'engins agricoles, l'automatisation et la robotique ouvrent un nouveau champ de perspectives

Le Global positioning system (GPS) et la Differential Global Positioning System (DGPS) associé au Real Time Kinematic (RTK) peut par exemple effectuer un semis, un désherbage mécanique avec une précision d'un cm stable dans le temps.

Si l'agriculture de précision au début de son déploiement avait pour objectif de moduler les intrants en intraparcellaire selon les caractéristiques des sols (« la bonne dose au bon endroit), l'apport du numérique a rapidement permis d'étendre la notion d' agriculture de précision vers une agriculture précise (« la bonne dose au bon endroit et au bon moment ») incluant :

- Les outils d'aide à la décision (pilotage de la production)
- Les différents moyens permettant de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires (avec en particulier la digitalisation de l'agroéquipement mais aussi les innovations mécaniques de réglage)

Les groupes de progrès (Dephy, 30000, GIEE...) ou comment faciliter le déploiement de l'agriculture de précision ?

Il y a actuellement un foisonnement d'initiatives portées par des groupes d'agriculteurs de toutes obédiences en matière d'agroécologie. Ces groupes locaux obtiennent souvent des résultats significatifs.

Cependant, au-delà des agriculteurs participant à ces groupes de progrès et directement concernés par l'adoption de nouvelles pratiques agroécologiques, ces dispositifs peinent à se vulgariser, à diffuser les techniques réduisant l'usage des phytosanitaires :

Et des collectivités et des filières économiques engagées sur le territoire

Certaines collectivités locales (de l'EPCI à la région) mais aussi des filières économiques régionales (de l'amont à l'aval de l'exploitation agricole) s'engagent également dans des actions territorialisées de transitions alimentaires et agroécologiques.

4.OBJET ET PERIMETRE DE LA MISSION, EXCLUSIONS NOTOIRES

Pascale CAZIN IGSPV et Hervé SIMON IGPEF ont été désignés pour conduire cette mission.

Cette mission n'abordera pas le développement des produits de biocontrôle et la sélection végétale autres composantes permettant la réduction de l'usage des produits phytosanitaires et se combinant avec les objectifs de l'agriculture de précision préalablement définis mais nécessitant une approche spécifique.

5.DOCUMENTATION DISPONIBLE

La documentation sur internet est abondante sur les multiples expérimentations lancées ces dernières années.

Le livre blanc de l'INRAE donne un cadre général aux thématiques de recherche.

Les instituts techniques regroupés autour de l'ACTA ont lancé le réseau des DIGIFERMES ayant pour but d'accompagner les agriculteurs et les fournisseurs agritech dans la mise en œuvre de technologies numérique sur leur exploitation.

L'ITAB, les FRCUMA, les chambres d'agriculture ont travaillé dans le cadre de leurs réseaux à la production de références permettant d'accompagner les opérateurs de terrain.

Chambre d'agriculture France pilote le dispositif Déphy.

Les DRAAF animent le réseau 30 000 en lien avec les agences de l'eau et la mise en place des mesures PCAE du PDR en lien avec les conseils régionaux.

FranceAgriMer pilote des programmes d'aide aux investissements en exploitation pour la réduction des intrants et les équipements pour « la troisième révolution agricole ».

6.DEMARCHE ET PHASAGE, JALONS

6.1. Phases de travail : État des lieux

Les missionnés ont d'ores et déjà pris contact et rencontrés les responsables des administrations centrales (DGAL, DGPE) ainsi que la direction scientifique de l'INRAE, la vice-présidence de Chambres d'agriculture France, la direction générale de l'ACTA, Coop de France et la FNCUMA.

De nombreux acteurs (recherche, professionnels) vont être contactés pour établir le bilan des nombreuses actions déjà réalisées et des moyens à mettre en œuvre pour assurer un déploiement plus rapide des techniques considérées comme les plus avancées.

Les visites dans trois à quatre régions permettra d'identifier à la fois les freins à lever mais aussi les bonnes pratiques déjà mises en œuvre pour permettre de diffuser les agroéquipements de la « troisième révolution agricole ».

6.2. Méthodologie

La mission mènera un travail de consultation et d'analyse des documents existants et réalisera sur cette base, un état des lieux quantitatif et qualitatif du déploiement de l'agriculture de précision et de ses perspectives.

Ces descriptions seront complétées par des échanges avec les représentants des filières afin d'identifier les freins auxquels ils sont confrontés afin d'identifier des réponses aux attentes opérationnelles.

Des déplacements dans trois ou quatre régions seront nécessaires afin d'aborder l'opportunité de déployer une approche territoriale en lien avec les acteurs locaux : collectivités territoriales, chambre régionale d'agriculture, centres expérimentaux des instituts techniques ou de stations régionales, organismes économiques...

Un focus sur le désherbage en grandes cultures sera, à ces occasions, réalisé.

Sur la base de ces analyses, des recommandations seront formulées afin de favoriser le déploiement des techniques permettant la substitution des produits phytosanitaires par des techniques de précision.

7. PARTIES PRENANTES A RENCONTRER

La mission a pris ou prendra l'attache, outre la DGAL, la DGPE, la DGER de :

- l'INRAE, l'OFB,
- Les coordonnateurs nationaux (P Vissac, B Assemat) des deux stratégies d'accélération « systèmes agricoles et alimentaires durables conduisant à l'agroécologie »,
- FranceAgriMer,
- Chambres d'agriculture de France,
- Les instituts techniques : ACTA, Arvalis, CTIFL,
- Robagri : association regroupant l'ensemble des partenaires de la robotique agricole,
- Axema : syndicat français des acteurs industriels de la filière des agroéquipements et de l'agroenvironnement et les principaux constructeurs,
- Sedima : syndicat national des entreprises des services et de distribution du machinisme,
- FNCUMA, FNEDT (ETA),
- Coop de France,

- La FNSEA dans le cadre de son action sur le contrat d'objectifs, Intercéréales (TAGPB, TAGPM), autres filières (oléo protéagineux, viticulture),
- Animateurs du réseau Dephy, groupe 30000 et GIEE.

Dans le cadre des déplacements dans des régions identifiées pour leurs pratiques innovantes et leurs démarches filières, la mission ira à la rencontre de collectivités territoriales (région et EPCI en particulier) et des filières économiques (notamment coopératives).

8.SUIVI ET LIVRABLES

Tout au long de la réalisation de la mission, les productions feront l'objet d'une supervision par le Président de la Section Alimentation et Santé du CGAAER.

Considérant que ce travail peut permettre d'alimenter la réflexion portée par :

- La mission d'accompagnement du « plan d'action stratégique pour l'anticipation du retrait des substances actives et le développement de techniques alternatives de protection des cultures » dont la première échéance est fixée mi-octobre.
- Le travail interministériel engagé pour l'élaboration de la stratégie nationale sur les produits phytopharmaceutiques pour la réduction de leurs effets sur l'Homme et l'environnement et pour l'adaptation des techniques de protection des cultures (Ecophyto 2030), avec une première finalisation prévue fin septembre.

La mission proposera une restitution en deux temps

- Début septembre, une présentation PowerPoint de l'état des lieux et des premières recommandations sera commentée au commanditaire lors d'une réunion de restitution.
- Puis le rapport de mission en limitant dans la mesure du possible les mentions et contenus à caractère confidentiel qui en restreindraient l'utilisation.

9.CALENDRIER D'EXECUTION

Le rapport sera remis en septembre 2023.

ANNEXE 3 : LISTE DES PERSONNES RENCONTREES

Nom	organisme	fonction	date
Christian Huyghe	INRAE	Directeur scientifique	17/04
Luc Servant	APCA	président	25/04
Eric	APCA	Responsable agroéquipement	25/04
Serge Lhermitte	DGPE		25/04
Sébastien Bouvatier	DGPE	Adjoint au sous-directeur de la performance environnementale	25/04
Jean-Paul Bordes	ACTA	Directeur général	27/04
Laurent De Buyer	Axema	Directeur général	28/04
Léna Berthie	La coopération agricole métier du grain	Responsable agroenvironnement	02/05
Catherine MATT	La coopération agricole métier du grain	directrice	02/05
Camille Girard	La coopération agricole vigneron	Responsable agroenvironnement	02/05
Honoré Labanca	La coopération agricole section luzerne déshydratée	Chargé de mission agronomie	02/05
Christophe Aubé	Robagri	président	04/05
Ludovic Warangot	DGAL	Expert agroéquipements	04/05
Claire Fuentes	DGAL	Cheffe du Bureau de la Transition pour une Production Agricole Durable	04/05
Loic Agnes	DGAL	Chef du service du pilotage de la performance sanitaire et de l'international	04/05
Nassim.Hamiti	FNCUMA	Chargé de mission agroéquipement	05/05
Claire Grosbellet	BNIC	Responsable du département Viticulture Durable	24/05
Laetitia Sicaud	BNIC	Responsable flavescence dorée	24/05
Simon Aimar	NACA	Directeur	24/05
Nicolas Pugeaux	NACA	Chargé de mission eau environnement	24/05
Gaultier Boudigues	Coopérative Cherac	Responsable robot	25/05
Jean-Marc Petat	BASF	Directeur département agriculture durable	26/05
Jérôme Clair	BASF	Chargé agriculture numérique	26/05
Olivier Bidaut	Fédération du Négoce agricole	président de la commission agrofournitures	26/05
Sandrine Hallot	Fédération du	Directrice du Pôle Produits,	26/05

	Négoce agricole	marché et services	
André Bernard	CDA France	Vice-président	01/06
Philippe Noyau	CDA France	secrétaire-adjoint	01/06
Virginie BRUN	CDA France	Cheffe de projet DEPHY Ecophyto Responsable de la Cellule d'Animation Nationale	01/06
Sébastien Branche	Ecorobotix	responsable de la zone France, Belgique	02/06
Camille Girard	La coopération agricole. Vignerons coopérateurs	Responsable environnement et transitions agroécologiques	05/06
Honoré Labanca	La coopération agricole. Luzerne de France		05/06
Lena Berthier	La coopération agricole. Métiers du grain		05/06
Benoît Vachez	Luzerne de France	agriculteur	05/06
Eric Masset	Luzerne de France	Président de la section Luzerne	05/06
Hervé Schwendenmann	Vignerons coopérateurs	Vice-président	05/06
Baptiste Cuny	Métiers du grain	Responsable du pôle innovation agronomie	05/06
Christophe Grison	Métiers du grain	Vice-président	05/06
Aline Muzard	In Vivo	Responsable des affaires publiques	06/06
Thierry Darbin	In Vivo	Directeur société bioline	06/06
Julieta Contreras	ACTA digifermes	Responsable du réseau des DIGIFERMES	08/06
Gaetan Severac	NAIO	Directeur technique	16/06
Franziska Zavagli	CTIFL	Responsable du programme santé des plantes et biocontrôle	16/06
Marine Louargant	CTIFL	Responsable unité mécanisation automatisation	16/06
Karima Giresse	CTIFL	Directrice de centre	16/06
Delphine BOUTTET	Arvalis	Responsable de la Digiferme de Boigneville	27/06
Benjamin PERRIOT	Arvalis		27/06
Sébastien Branche	société Ecorobotix	responsable de zone France - Belgique	27/06
Simon Gasser	société Ecorobotix	responsable agronomie	27/06
Mathieu Beulin	agriculteur		27/06
Delphine Berthe	chambre d'agriculture du Loiret		27/06
Adrien Cordier	groupe Méthivier	responsable commercial,	27/06
Rémi Laigneau	groupe Méthivier	technico-commercial nouvelle technologie	27/06
Anne Lise	Groupe Méthivier	DG du groupe Méthivier	27/06

Lombardy-Méthivier			
Bruno Tisseyre	UMR ITAP		30/06
Alexandre Burkhalter	DGER	Chargé de mission d'inspection faisant fonction en STE Coordinateur licence professionnelle "parcours GTEA et ARE"	30/06
Vincent Jéhanno	DGER	Animateur <u>Réso'them</u> transition agroécologique de l'enseignement agricole	04/07
Didier Carmier	DGER	Directeur opérationnel du campus des métiers et agroéquipement Bourgogne Franche Comté	30/06
Nicolas Munier-Jolain	INRAE	UMR agroecologie	10/07
Pascal Hervé	EPTB Eau et Vilaine	Vice-président	10/07
Guillaume Le Gonidec	Fédération nationale des entrepreneurs des territoires	Chargé des travaux agricoles et environnementaux	10/07
Franck Bellessort	Fédération nationale des entrepreneurs des territoires	Entrepreneur de travaux agricoles Sarthe	10/07
Benjamin Banton	Fédération nationale des entrepreneurs des territoires	Entrepreneur en viticulture en Gironde	10/07
Etienne Achille	CGAAER	Haut fonctionnaire au numérique	12/07
Anne Dufour	CGAAER		12/07
Dominique Tremblay	CGAAER		12/07
Julien Prat	Eureden	Responsable adjoint de l'activité légumes industrie	13/07
<u>Dirk Den Bakker</u>	STECOMAT		21/07
<u>Niek Jansingh</u>	STECOMAT et BINNOVE	Gérant	21/07
<u>Sebastien Gorry</u>	CYCLAIR	président	07/08
<u>Anne Fradier</u>	SEDIMA	Secrétaire générale	07/09
<u>Olivier Prunaux</u>	DGAL/SDPV	Adjoint au sous-directeur	08/09
Thierry EVELIN	CARRE	Responsable marketing	12/09

ANNEXE 4 : LISTE DES SIGLES UTILISES

ACTA : Association de Coordination technique agricole
ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AMM : autorisation de mise sur le marché
APCA : Assemblée permanente des Chambres d'Agricultures
BNIC : bureau national interprofession cognac
BSV : bulletin de santé du végétal
BTS : brevet technicien supérieur
CE :certificat environnemental
CEPP : certificats d'économie de produits phytopharmaceutiques
CDA France :
CGAAER : Conseil Général de l'Agriculture, l'Alimentation et des Espaces Ruraux
CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et légumes
CUMA : coopérative d'utilisation de matériel agricole
DDI : direction départementale interministérielle
DGAL : Direction Générale de l'Alimentation
DGPE : La Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises
DGER : Direction générale de l'enseignement et de la recherche
DPEF : déclaration de performance extra financière
DRAAF : Direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt
EPCI : établissements publics de coopération intercommunale
EPTB : Etablissement Public Territorial de Bassin
ETA : Entreprises de travaux agricoles
FNCUMA : Fédération Nationale des Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole
GPS : Géo-positionnement par satellite
HVE : haute valeur environnementale
IA : intelligence artificielle
IFT : indice de fréquence de traitement
ISPA : International Society for Precision agriculture
IT : itinéraire technique
INRAE : l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
MAEC : Mesures agro-environnementales de la PAC
OAD : outil d'aide à la décision
PPAMC : Plantes à parfum, aromatiques, médicinales et condimentaires

PSE : Paiements pour services environnementaux

RIT : recherche transfert innovation

RGB : red green blue

RTK : Real Time Kinematic

RSE : responsabilité sociétale des entreprises

SEDIMA : syndicat national des entreprises de services et distribution du machinisme agricole d'espaces verts et des métiers spécialisés

ANNEXE 5 : BIBLIOGRAPHIE

- Feuille de route agriculture et numérique – gouvernement – février 2022
- JO définition agriculture de précision
- Site station météo.io : choisir sa station météo connectée

- Bordes J-P, 2017- Numérique et agriculture de précision –Annales des Mines Responsabilité et Environnement
- Cussonneau A., avril 2021- Paysan Breton : site internet. « Le guidage des bineuses se fait plus précis »
- Baron G., mai 2021 - Site La France Agricole : Nouvelles technologies : Le désherbage au laser une technique en développement. Prospective agricole à l'horizon 2035
- Chordogne S., avril 2021 - Site L'usine nouvelle : l'industrie c'est fou moins d'herbicide plus de Laser. <https://www.usinenouvelle.com/editorial/l-industrie-c-est-fou-moins-d-herbicides-plus-de-lasers-cet-engin-utilise-l-ia-contre-les-mauvaises-herbes.N1087779>
- Djafour S., Tisseyre B., septembre 2022 - Enjeux numériques – Annales des Mines
- Guyomard S., mai 2023 - Site internet Terre net « la détection des chardons par drone se démocratise »
- Legal C., octobre 2022 - La France agricole ; site internet. Protection des cultures : des solutions concrètes pour la pulvérisation ciblée
- Thériault D., 2019, Université du Québec - Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement dépistage automatique du doryphore de la pomme de terre à l'aide de l'imagerie ultra haute résolution acquise par drone et de l'apprentissage profond.

- Réalisation d'une étude de prospective sur les techniques de désherbage en grandes cultures sur le territoire français Paul Pannetier
Prospective agricole à l'horizon 2035

- Site internet Agtecher agriculture technologie. Qu'est-ce que le NDVI ? 19/02/2023. <https://agtecher.com/fr/quest-ce-que-le-ndvi-comment-est-il-utilise-en-agriculture-avec-quelles-cameras/>
- Site internet infobourg : DESHERBAGE AU LASER : CES MACHINES PEUVENT REDUIRE L'UTILISATION DES HERBICIDES GRACE AU LASER.08/02/2023
[HTTPS://WWW.INFOBOURG.FR/NATURE/DESHERBAGE-AU-LASER-CES-MACHINES-PEUVENT-REDUIRE-LUTILISATION-DES-HERBICIDES-GRACE-AU-LASER-952](https://www.infobourg.fr/nature/desherbage-au-laser-ces-machines-peuvent-reduire-l-utilisation-des-herbicides-grace-au-laser-952)
- <https://www.lafranceagricole.fr/herbicide/article/750130/le-dsherbage-au-laser-unetechnique-endveloppement>

- Mémoire de fin d'étude année 2021-2022 UniLaSalle Beauvais formation agronomie et agro-industries

- Site ESA 'European Space Agency : Le savoir-faire belge au service de l'agriculture de précision .03/08/2017

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Belgium_-_Francais/Le_savoir-faire_belge_au_service_de_l_agriculture_de_precision

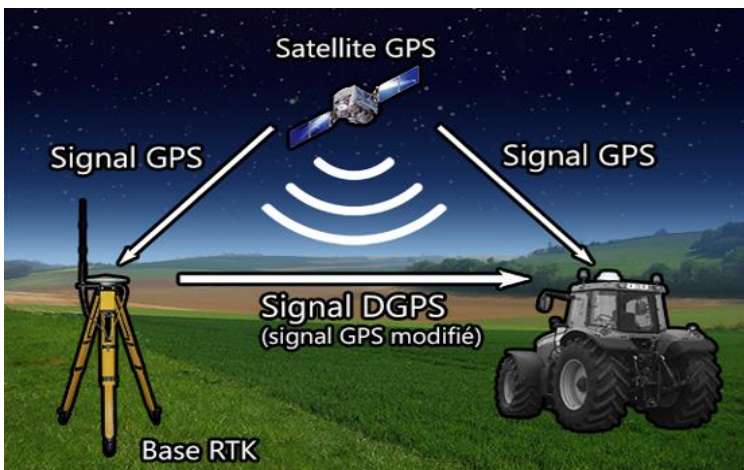
ANNEXE 6 : SYSTEME RTK

Terre Net selon Matthieu Freulon | 30 janvier 2014

L'autoguidage RTK (real time kinematic) permet au chauffeur de se libérer de la conduite dans la parcelle et de repasser dans les mêmes traces d'une fois à l'autre.

Mais comment ça marche ? Quels signaux sont utilisés ? Le point en chiffres et en images

Un signal GPS offre une précision de 5 à 15 m. Dans le cas d'un autoguidage par RTK le signal que reçoit le tracteur va être corrigé par une station fixe dont on connaît les coordonnées exactes. Cette correction dite "différentielle" permet à l'automoteur équipé d'être guidé automatiquement, avec une précision de 2 à 3 cm, par ondes radio ou par téléphonie mobile. La transmission par téléphonie mobile offre une utilisation simple en utilisant les réseaux des opérateurs, et permet de se passer de station de référence locale (type antenne). A l'inverse, la transmission par ondes radio procure l'avantage de se libérer de l'état de saturation du réseau téléphonique. Car, rappelons-le, le signal Gprs General Packet Radio Service n'est pas prioritaire sur le téléphone. Par contre, il requiert une antenne/station de référence située à une quinzaine de kilomètres de la parcelle maximum (sans obstacle de type colline, forêt, etc).



Fonctionnement d'un autoguidage Rtk. (©Terre-net Média)

La spécificité du Rtk, c'est sa répétabilité

Dans le tracteur, le signal est valorisé par un asservissement électrique ou hydraulique de la direction. Le premier est constitué d'une molette ou d'une crémaillère se fixant directement sur le volant, ou d'un système se substituant au volant. Ce type d'asservissement a l'avantage d'être nomade, et donc utilisable sur différentes machines de l'exploitation.

Au-delà du gain de confort pour le chauffeur et des économies de recouvrement, avec des économies d'intrants, le grand intérêt d'un autoguidage par RTK, c'est la répétabilité et la capacité à revenir au même endroit (+/- 2 cm). Une propriété intéressante en outre pour les chantiers de binage.

Cameras à lumière rouge

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) est une méthode largement adoptée pour évaluer la quantité de végétation vivante en particulier dans l'agriculture.

Les plantes sont des organismes qui utilisent la lumière du soleil comme énergie pour fabriquer leur propre nourriture. Ils le font grâce à un processus appelé photosynthèse, qui se produit dans leurs feuilles. Fait intéressant, les feuilles des plantes absorbent non seulement la lumière du soleil, mais elles en réfléchissent également une partie. Cela est particulièrement vrai pour la lumière proche infrarouge, qui est invisible à nos yeux mais représente la moitié de l'énergie du soleil.

Les plantes vertes vivantes semblent sombres à la lumière visible, mais apparaissent brillantes dans le spectre proche de l'infrarouge.

Système RGB

Rouge-vert-bleu (RVB, ou RGB pour l'anglais *red-green-blue*) désigne un système de traitement optique, d'affichage électronique ou d'un codage de signal vidéo analogique ou un codage informatique des couleurs.

Pour restituer la perception humaine colorée d'une image, différentes méthodes existent, en peinture, en imprimerie, en projection photographique, vidéo ou en affichage électronique et notamment, grâce au principe de la trichromie.

Ce principe est notamment exploité par un téléviseur, un écran vidéo ou d'ordinateur, lequel reproduit la couleur par synthèse additive, à partir des trois couleurs primaires : rouge, vert et bleu. À l'écran, chaque élément constitutif de l'image vidéo, cellule ou élément luminophore est associé à une valeur de ces couleurs primaires. Chaque élément utilise notamment une intensité lumineuse, dévolue à chacune des trois couleurs ; le codage RVB permet de définir la valeur de la luminance de chacun des « points » en affichage analogique ou « pixels », en affichage numérique, composant l'image vidéo

Camera hyper spectrale

Avec les images hyper spectrales, de très nombreuses bandes de fréquence très étroites – qu'on pourrait comparer à des couleurs – sont observées dans des longueurs d'onde visibles et quasi-infrarouges au lieu des bandes de fréquences plus traditionnelles rouge, verte, bleue et parfois aussi infrarouges.

Une caméra plus sensible aux subtiles nuances de couleurs permet de constater des anomalies que l'on ne verrait que plus tard à l'œil nu ou avec une caméra classique, lorsqu'il est alors trop tard pour corriger la situation.



Image hyperspectrale de culture de fraise. Site ESA

ANNEXE 7 : LE RESEAU RTK CENTIPEDE



Réseau RTK Centipède

Site internet : <https://docs.centipede.fr>

Mise à jour juillet 2023



Généralités :

Centipède est un réseau de bases de référence RTK, mis en place depuis 2019, à l'initiative de l'INRAE. Son objectif est de fournir un signal de correction sans abonnement, aux personnes recherchant une géolocalisation précise et répétable.

Les trois principes clés du réseau Centipède :

Centipède est un réseau

- « **collaboratif** » : Centipède compte sur les utilisateurs pour étoffer le réseau de bases. Toute le monde peut être contributeur. L'objectif est d'atteindre une couverture totale du territoire national.
- « **ouvert à tous** » : il est accessible gratuitement à tout le monde, y compris à ceux qui n'installent pas d'antenne chez eux, en se connectant sur la balise la plus proche.
- « **fait maison** » : Ce sont les utilisateurs qui réalisent eux-mêmes les bases de référence : achat des composants sur internet, paramétrage, installation. Pour les accompagner dans la démarche, Centipède met à disposition, sur son site internet, des tutoriels.

Ce réseau est aujourd'hui mature (il fonctionne). Mise à part des mises à jour au niveau des bases, il n'y a pas grosses évolutions à prévoir en terme de fonctionnement.

Centipède propose également des tutoriels pour fabriquer :

- une antenne de réception : permet de capter le signal RTK fourni par les bases de référence Centipède. Utilisable sur un matériel (équivalent de l'antenne GPS du constructeur) ou sur une perche d'arpentage. Investissement : environ 300 €.
- un système d'autoguidage complet sur tablette. Equivalent à l'équipement complet d'un constructeur (se substitue à la console de guidage). investissement : 1500 à 2 000 €. Attention : démarche beaucoup plus lourde.

Caractéristiques principales de la correction RTK Centipède

- Centipède est un RTK « monobase » : Le tracteur reçoit la correction calculée à partir d'une seule base de référence. Il est nécessaire de ne pas trop s'éloigner de la base sur laquelle votre matériel est connecté pour obtenir une bonne précision (moins de 30 km). Ce principe oblige à changer manuellement de balise quand on s'en éloigne trop. Si vos parcelles sont couvertes par plusieurs balises, il est conseillé de toujours utiliser la même. Sinon, il y a un risque de décalage.

Document rédigé par Sylvain DESEAU (CA 45) avec l'appui technique de Paul BRILLAUDT (CA 28)

- RTK GSM : La correction est transmise à la console de guidage du tracteur via le réseau de téléphonie mobile. La console de guidage doit donc être connectée à internet via un modem intégrant une carte SIM.
- Format de transmission des informations (langage) : RTCM 3
- La précision théorique de ce type correction : $1 \text{ cm} + 1 \text{ mm/km}$. Soit pour à 30 km de la base : 4 cm. Au-delà de 50-60 km, le rayon de courbure de la terre a un impact sur la précision. L'idéal serait de ne pas dépasser 30 km.
Les tests de la Chambre d'Agriculture de la Somme aboutissent à une précision relative < à 4 cm.
Des tests sont en cours chez Arvalis.
- Temps de convergence (temps d'attente pour obtenir la précision) : 3 mn

Que peut-on retenir à propos de Centipède

- 1- Principe séduisant car il permet d'accéder à une correction centimétrique sans abonnement.
- 2- La construction d'une base de référence ne nécessite pas de compétences en électronique ou en informatique. Toutefois, la partie paramétrage peut comporter quelques difficultés pour les plus novices. Centipède met à disposition des tutoriels sur son site internet pour vous guider. La deuxième partie de ce guide a pour but d'apporter des informations complémentaires à ces tutoriels.
La démarche est plus compliquée pour la réalisation d'une antenne de réception et encore plus pour un autoguidage.
- 3- Un fil de discussion sur la messagerie Télégram (« Centipède RTK ») permet d'obtenir un minimum d'assistance en cas de problème. La fabrication du matériel (base, antenne de réception, autoguidage) se fait avec des composants génériques et des logiciels, disponibles gratuitement sur internet, donc à moindre coût. Elle nécessite plus ou moins de compétences.
- 4- Si Centipède permet d'accéder à une correction RTK sans souscrire d'abonnement, il faut néanmoins prévoir un minimum d'investissement pour que votre console de guidage puisse capter le signal :
 - La console doit être compatible RTK (correspond souvent aux fonctionnalités des consoles milieu de gamme : + 2000 par rapport à une console entrée de gamme)
 - La fonction RTK doit être débloquée (prix variable selon les constructeurs)
 - L'antenne doit être équipée d'un modem si la console de guidage n'est pas elle-même connectable sur internet (modem : 1 500 €)
 - Celui-ci doit recevoir une carte SIM donc génère un abonnement annuel (50 à 100 €/an).
- 5- Cette solution arrive au bon moment puisque certains réseaux RTK en place aujourd'hui (essentiellement des réseaux radio), sont remis en question voire s'arrêtent (réseaux vieillissants, coûteux en entretien).
- 6- La qualité de l'installation et de la configuration de la base a un impact sur la précision de la correction. C'est le propriétaire de la base qui assure sa mise à jour et son dépannage en cas de soucis. De ce fait, vous avez tout intérêt à disposer de votre propre base pour limiter le risque de ne pas avoir de signal le jour où vous en avez besoin.

Document rédigé par Sylvain DESEAU (CA 45) avec l'appui technique de Paul BRILLAULT (CA 28)

- 7- Il n'y a pas de signal d'attente (de secours) en cas de panne. Mis à disposition en général par les constructeurs type John Deere ou Trimble, ces corrections (type SBAS) permettent de palier ponctuellement à la perte du signal RTK quand vous travaillez sur les parcelles.
- 8- Il est possible de transmettre la correction RTK par une onde radio à l'image des réseaux RTK locaux déployé par les concessionnaires à ce jour. Cette solution présente peu d'intérêt :
- Portée limitée
 - Sensible aux obstacle
 - génère des frais de redevance ARCEP.

Avantages	Inconvénients
<p>Correction compatible toutes consoles. Ce n'est pas un format propriétaire comme le RTK radio.</p> <p>Si vous construisez une base :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proximité de la base donc précision du signal • Autonomie dans l'utilisation et dans le dépannage. • Contribution au déploiement du réseau <p>Si vous vous connectez sur une base existante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accès au réseau gratuit • Je profite de la compétence des voisins si je ne suis pas à l'aise pour le faire moi-même. <p>Pa de limite dans le nombre de personnes connectées simultanément sur une même base.</p>	<p>Si vous construisez une base :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vous assumez l'investissement (500 €), l'entretien et les mises à jour. • Nécessite un minimum de compétences pour se dépanner. Pas de SOS dépannage disponible 24 h/24 même si le fil de discussion sur Telegram fonctionne bien. <p>Si vous utilisez une base existante, vous êtes dépendant</p> <ul style="list-style-type: none"> • de la qualité de réalisation de la base (installation, mises à jour des logiciels) . Cela a un impact sur la précision de la correction. • De la disponibilité du propriétaire de la base en cas de panne (délai de réparation) <p>Pas de signal d'attente en cas de panne.</p>